

T  
660.2  
LERm



**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería Mecánica**



**“MEMORIA DE SELECCION Y MONTAJE DE UN  
PRECIPITADOR ELECTROSTATICO PARA CLINKER EN  
UNA FABRICA DE CEMENTO DE VIA SECA”**

**INFORME TECNICO**

**Previo a la obtención del Título de:**

**INGENIERO MECANICO**

Presentado por:

**Luigi Martín Lértora Velarde**

**Guayaquil - Ecuador**

**1989**

DEDICATORIA

A MIS PADRES

A MIS HERMANOS

A MIS SOBRINOS

A MIS AMIGOS

## AGRADECIMIENTO

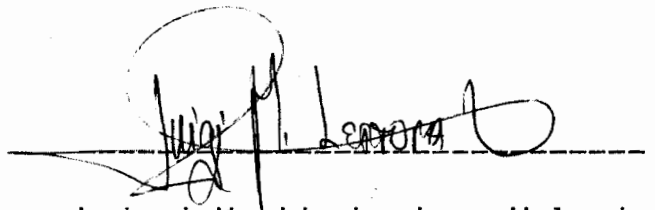
Al ING. ERNESTO MARTINEZ  
Director de Informe Técnico,  
por su valiosa y desinteresada ayuda en la  
elaboración del presente  
Proyecto.

DECLARACION EXPRESA

DECLARO QUE:

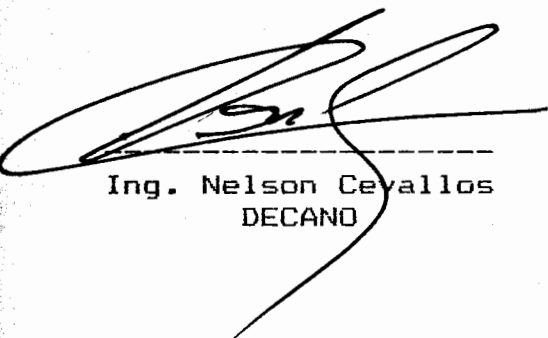
" Este Informe Técnico corresponde a la resolución de un problema práctico relacionado con el perfil profesional de la Ingeniería Mecánica".

(Reglamento de Graduación mediante la elaboración de Informes Técnicos).

A handwritten signature in black ink, written over a horizontal dashed line. The signature is cursive and appears to read 'Luigi M. Lertora Velarde'.

Luigi Martín Lertora Velarde





Ing. Nelson Cevallos  
DECANO



Ing. Ernesto Martinez  
DIRECTOR INFORME



Ing. Ricardo Cassis  
MIEMBRO TRIBUNAL

## RESUMEN

Uno de los más graves problemas existentes dentro de las diferentes fases de la elaboración del cemento por vía seca, es la generación del material particulado, el cual es enviado a la atmósfera, convirtiéndose de esta forma en una contaminación, con sus respectivas consecuencias en lo referente a la salud humana, vegetación y bienes materiales.

Por otro aspecto, el material particulado generado en las diferentes fases, es un elemento terminado, que dado el porcentaje que le corresponde con respecto a la producción justifica la instalación de equipos específicamente diseñados para el control o recuperación de dichos materiales.

Así a lo largo de los años se han desarrollado diferentes sistemas como son los: ciclones, multiciclones, filtros de mangas, precipitadores electrostáticos y filtros de lecho granular. Cuya selección depende de la eficiencia requerida, volumen de gas, temperatura, espacio físico, mantenimiento y costos de instalación y operación.

Habiéndose por lo tanto decidido el reemplazo de los multiciclones existentes para recuperar el clinker en la planta "CERRO BLANCO" de la Cemento Nacional C.E.M. por unos precipitadores electrostáticos, cuyo montaje fue realizado por los Talleres Industrial Metálica, compañía en la cual desarrollo mi actividad profesional, habiendo

participado en la selección, montaje y puesta en marcha de los equipos arriba mencionados. La selección y el respectivo desarrollo del montaje de los precipitadores electrostáticos para clinker es el tema que se va a tratar en esta memoria técnica.

## INDICE GENERAL

### INDICE GENERAL

### INDICE DE FIGURAS

### ANTECEDENTES

#### 1. LA CONTAMINACION ATMOSFERICA POR PARTICULAS EN FABRICAS DE CEMENTO DE VIA SECA.

1.1. Proceso de fabricación del cemento por vía seca.

1.2. Generación y normas ambientales sobre material particulado en fábricas de cemento de vía seca.

1.3. Equipos generalmente empleados para controlar la contaminación atmosférica por partículas en fábricas de cemento de vía seca.

#### 2. SELECCION Y DESCRIPCION DEL EQUIPO A INSTALAR.

2.1. Selección del equipo.

2.2. Principio de la precipitación electrostática.

2.3. Descripción del sistema.

2.4. Especificación del sistema seleccionado.

2.5. Sistema de control y operación.

#### 3. MONTAJE DEL PRECIPITADOR ELECTROSTATICO.

3.1. Recepción del equipo.

3.2. Procedimiento del montaje.

3.3. Pruebas y ajustes.

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### APENDICES

### REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

## INDICE DE FIGURAS

- Fig. 1. 1. Diagrama de flujo de una fábrica de cemento por vía seca.
- Fig. 1.2. Cartas de Humos de Ringelmann.
- Fig. 1.3. Esquemas de dos tipos de cámaras de sedimentación por gravedad, para polvo de enfriadora de clinker por aire.
- Fig. 1.4. Esquema de diseño proporcional de un ciclón separador de polvo.
- Fig. 1.5. Esquema longitudinal de un multiciclón para colección de polvo para una enfriadora de clinker por aire.
- Fig. 1.6. Esquema longitudinal de un filtro de mangas.
- Fig. 1.7. Esquema longitudinal de un filtro de lecho de grava.
- Fig. 1.8. Esquema longitudinal de un precipitador electrostático de dos campos.
- Fig. 2. 1. Diagrama de flujo de un sistema de colección con filtro de mangas.
- Fig. 2. 2. Diagrama de flujo de un sistema de colección con filtro de mangas e intercambiador de calor
- Fig. 2. 3. Diagrama de flujo de un sistema de colección de acero inoxidable.
- Fig. 2. 4. Diagrama de flujo de un sistema de colección por circuito cerrado.
- Fig. 2. 5. Diagrama de flujo de un sistema de colección con filtro de lecho de grava.

- Fig. 2. 6. Diagrama de flujo de un sistema de colección con filtro de precipitador electrostático.
- Fig. 2. 7. Disposición básica de un precipitador electrostático.
- Fig. 2. 8. Electrodo rígidos de emisión, donde se aprecia el "efecto corona".
- Fig. 2. 9. Esquema de las reacciones eléctricas acaecidas entre el electrodo de emisión, colección y las partículas suspendidas en el gas que fluye en el precipitador electrostático.
- Fig. 2.10. Esquema del sistema de descarga del polvo de los electrodos de emisión y colección.
- Fig. 2.11. Precipitador electrostático tipo F.
- Fig. 2.12. Esquema de la aplicación de un precipitador electrostático tipo F en el desempolvado de una enfriadora de rejilla para clinker de un horno rotativo para cemento.
- Fig. 3. 1. Esquema de planta de las zonas de almacenaje y armado.
- Fig. 3. 2. Maqueta del proyecto de la instalación de dos precipitadores electrostáticos para enfriadoras de clinker por aire en la planta "Cerro Blanco".
- Fig. 3. 3. Corte longitudinal del sistema Enfriadora de clinker-Precipitador electrostático.
- Fig. 3. 4. Vista del edificio base de hormigón armado con los asientos de apoyo para los precipitadores

electrostáticos.

- Fig. 3. 5. Vistas de la ductería y las torres de los precipitadores electrostáticos.
- Fig. 3. 6. Vista de la ductería y las torres de los precipitadores electrostáticos.
- Fig. 3. 7. Vista de la chimenea original de la línea 2 de la planta "Cerro Blanco".
- Fig. 3. 8. Vista de planta de la distribución de los asientos del precipitador electrostático.
- Fig. 3. 9. Asiento fijo en el proceso de alineación.
- Fig. 3.10. Asiento fijo con el pórtico instalado sobre él
- Fig. 3.11. Asiento libre del extremo de la salida de gases (lado opuesto al asiento fijo).
- Fig. 3.12. Asiento libre del extremo del ingreso de gases (lado contiguo al asiento fijo).
- Fig. 3.13. Vistas de las uniones soldadas de las esquinas superiores de los pórticos.
- Fig. 3.14. Vistas de las uniones soldadas de las esquinas inferiores de los pórticos.
- Fig. 3.15. Operación de armado de los pórticos del precipitador electrostático.
- Fig. 3.16. Montaje del primer pórtico del precipitador electrostático.
- Fig. 3.17. Montaje del primer pórtico del precipitador electrostático de la línea 1 de "Cerro Blanco"
- Fig. 3.18. Montaje del último pórtico del precipitador electrostático de la línea 1 de "Cerro Blanco"

- Fig. 3.19. Operación de soldado del planchaje lateral del precipitador electrostático de la línea 1 de "Cerro Blanco". Derecha: vista exterior. Izquierda: vista interior.
- Fig. 3.20. Vista del avance del soldado del planchaje lateral del precipitador electrostático.
- Fig. 3.21. Vista de las tolvas recolectoras.
- Fig. 3.22. Esquema de los sistemas de emisión y colección y sus respectivos sistemas de limpieza.
- Fig. 3.23. Transición de salida del precipitador electrostático. Arriba: Vista exterior. Abajo: Operación de soldado del lado interior.
- Fig. 3.24. Transición de entrada del precipitador electrostático. Derecha: Montaje de la mitad de la sección inferior. Izquierda: Vista de la sección intermedia y del techo.
- Fig. 3.25. Tipos de aislamiento térmico.
- Fig. 3.26. Vistas laterales de los precipitadores electrostáticos.
- Fig. 3.27. Vista anterior y posterior de los precipitadores electrostáticos.
- Fig. 3.28. Vista de planta de la disposición de las ras-tras transportadoras en el sistema.
- Fig. 3.29. Corte longitudinal del ventilador y contraeje.



## ANTECEDENTES

El incremento de la demanda de cemento en el país en las últimas décadas, ha obligado a la industria cementera nacional a realizar inversiones en la ampliación de su capacidad productiva. Así tenemos que a fines de 1977 se incorpora la línea 1 (Allis Chamblers) y en Agosto de 1981 la línea 2 (F. L. Smidth) de la planta "Cerro Blanco" de la Cemento Nacional C.E.M., mismas que tenían una capacidad de producción inicial de 1500 ton. clinker día.

En el transcurso de los años se han realizado mejoras en las instalaciones de la Planta Cerro Blanco, alcanzando hasta la fecha un nivel de producción de 1750 ton. clinker/día.

Esta filosofía de ir optimizando las instalaciones existentes con el afán de incrementar su nivel de producción, con una relativa baja inversión inicial, se enfocó también en el aspecto de la colección de material particulado emitido en las diferentes fases de la elaboración del cemento por vía seca.

Es así como se emprenden diversas modificaciones en las instalaciones teniendo que a partir de 1981; el departamento de proyectos de la Cemento Nacional C.E.M. (TECCON) se plantea el cambio de los sistemas de colección de material particulado de las enfriadoras de clinker (multiciclones) de baja eficiencia (<80%) por uno de mayor eficiencia.

La experiencia obtenida en la operación de estos multiciclones, había resaltado graves problemas, de los cuales los principales eran:

- a. Baja eficiencia (<80%)
- b. Gastos elevado de mantenimiento
- c. Sensibilidad a las variaciones del caudal de gas
- d. Gran contaminación atmosférica por material particulado de clinker del orden de los 5 gr/Nm<sup>3</sup> que corresponden a unas 30 ton clinker/día.

Analizándose seis alternativas para el reemplazo de estos equipos de control de la emisión de material particulado como son:

1. Filtro de mangas
2. Filtro de mangas con intercambiador de calor
3. Filtro de mangas de acero inoxidable
4. Circuito cerrado
5. Filtro de lecho granular
6. Filtro electrostático

Siendo seleccionado la del filtro electrostático, contratándose la construcción del equipo de control y sus auxiliares con la F.L. Smidth, y el montaje del mismo con Talleres Industrial Metálica. Realizándose la obra física entre los años 1986 y 1987.

Al cabo de casi dos años de operación de los equipos seleccionados, se siente fácilmente la diferencia en el medio ambiente, dado que la emisión se redujo a unos 30 mg/Nm<sup>3</sup> que significaban unos 148 Kg de clinker/día, con

el consecuente beneficio económico para la empresa, tanto en lo que respecta a producción como en lo referente al mantenimiento (mecánico, limpieza) y operación.

## CAPITULO I

### LA CONTAMINACION ATMOSFERICA POR PARTICULAS EN FABRICAS DE CEMENTO POR VIA SECA.

#### 1.1. PROCESO DE FABRICACION DEL CEMENTO POR VIA SECA.

El cemento es un producto de fraguado hidráulico, es decir que después de entrar en contacto con el agua, se endurece hasta alcanzar la consistencia de la piedra. Además si se agrega arena y otros minerales al cemento, éste reacciona para convertirse en otro producto indispensable en nuestra época, el hormigón.

El uso de materiales similares al cemento tiene más de dos mil años, así, tenemos testimonios perdurables de antiguas civilizaciones (Egipcia, Greca, Romana) que disponían de aglomerantes muy resistentes. La historia de las civilizaciones es en cierta manera, el registro del desarrollo y tecnificación de los aglomerantes, que unían los materiales sólidos que han resistido el paso de los siglos y nos han llegado preciosos testimonios del pasado. En la época moderna, el cemento es una de sus manifestaciones más elocuentes y, a la vez, su impulso y desarrollo. Es Joseph Aspdin, Inglés, quien dá el paso decisivo cuando patenta su producto, llamado Cemento Portland, en 1824. El nombre se debe a que Aspdin utilizó en sus experimentos una roca extraída de la Isla Portland,

en Gran Bretaña.

En nuestro país como en otros de América Latina, la fabricación del cemento y el ferrocarril fueron agentes promotores del avance de la tecnificación de muchos procesos productivos al comienzo del siglo en curso.

Así tenemos que el 12 de Julio de 1923 se inauguró la planta "San Eduardo" con una capacidad de producción de 3000 toneladas anuales de cemento, sufriendo la planta antes mencionada con el paso del tiempo ampliaciones como en:

1942 a 20000 toneladas anuales de cemento.

1949 a 50000 toneladas anuales de cemento.

1950 a 125000 toneladas anuales de cemento.

1961 a 265000 toneladas anuales de cemento.

1968 a 375000 toneladas anuales de cemento.

A fines de 1977 se incorpora a la producción la línea 1 de la planta "Cerro Blanco", que sumada con "San Eduardo" totalizaban una capacidad de 925000 toneladas anuales de cemento.

En Agosto de 1981, entra en funcionamiento la línea 2 de "Cerro Blanco", totalizando de esta forma una capacidad de 1'400000 toneladas anuales de cemento.

Lograndose con la optimización de la producción y mejoras, el incremento de la capacidad a 1'500.000 toneladas anuales de cemento.

Tanto en la Planta "San Eduardo" como en "Cerro

Blanco", el proceso de elaboración de cemento utilizado es el de vía seca, proceso que a continuación explicamos. (Ver figura 1.1).

#### PROCESO DE FABRICACION DEL CEMENTO POR VIA SECA

La elaboración del cemento requiere de materias primas básicas como son: la piedra caliza, la arcilla (Al, Mg) y la arena ferrosa. Todas las cuales se extraen del suelo terráqueo en lugares llamados "canteras".

Generalmente las instalaciones cementeras se construyen cerca de canteras proveedoras de la piedra caliza, trasladando de otros lugares tanto la arcilla (Al, Mg) como la arena ferrosa.

La piedra caliza obtenida en la cantera deberá ser sometida a un proceso de TRITURACION que se realiza en tres etapas, donde en la primera etapa (trituradora primaria) se reduce el tamaño promedio de 1 metro (obtenido en la cantera) a unos 250 mm, poseyendo la trituradora primaria de la planta "Cerro Blanco" una capacidad de producción de 1500 toneladas por hora. En una segunda etapa (trituradora secundaria) se reduce la piedra caliza a un tamaño promedio de 50 mm y finalmente en un circuito cerrado de una batería de trituradoras (trituradoras terciarias) con una batería de zarandas, se reduce la piedra caliza a un tamaño promedio de 15 mm. En las zarandas la piedra caliza

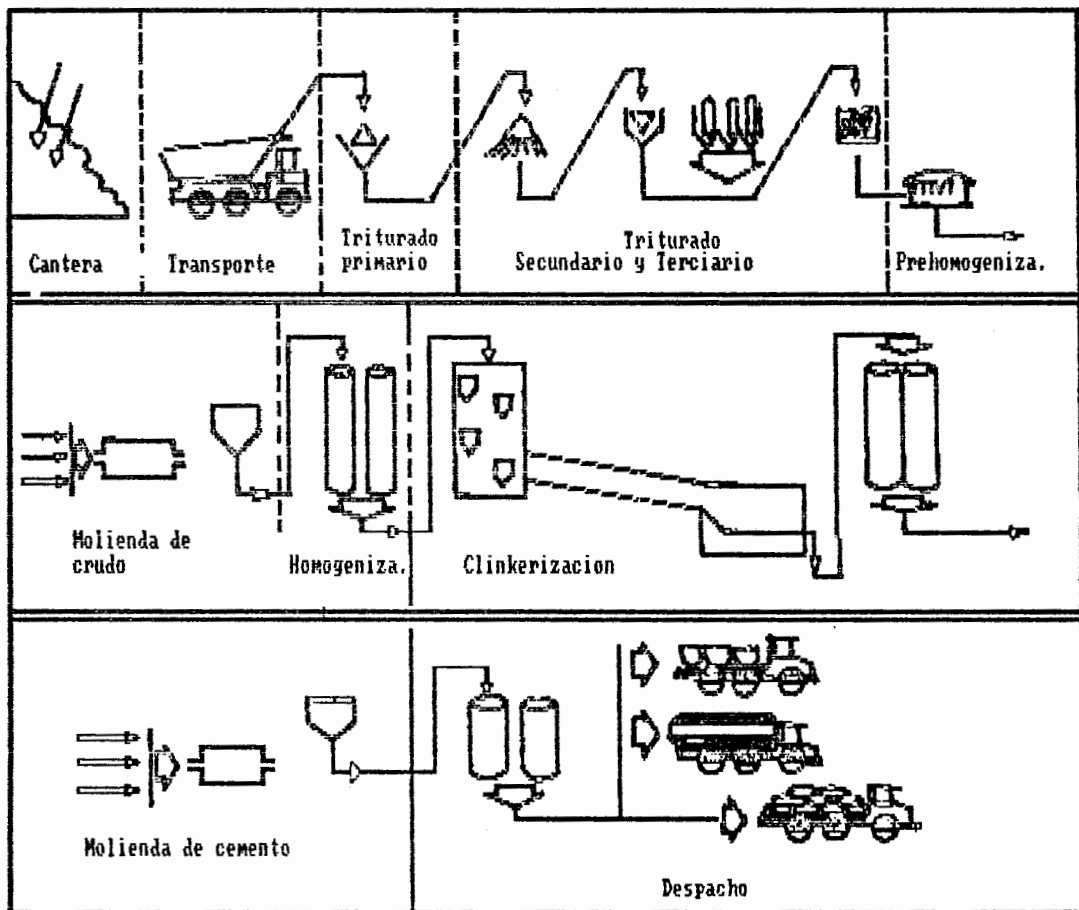


FIGURA 1.1.- DIAGRAMA DE FLUJO DE UNA FABRICA DE CEMENTO

POR VIA SECA.

sufre un proceso conocido como CLASIFICACION que tiene el objetivo de reducir el desgaste, rotura de herramienta y también el consumo de energía en las trituradoras. Además de esta clasificación se tiene otra ventaja colateral que es la de poder tener subproductos derivados del proceso como son por ejemplo la conocida piedra chispa o piedras de diferentes tamaños de grano cuya aplicación puede ser variada, por ejemplo ser parte de la mezcla cemento-arena-piedra para obtener el concreto.

Una vez triturada y clasificada la piedra caliza, esta es depositada en una pila circular con capacidad para 76000 toneladas, pila que está conformada por estratos superpuestos en forma horizontal y prehomogenizada al extraer de la pila transversalmente en forma continua, esta fase de la elaboración del cemento es conocida como PREHOMOGENIZACION, y tiene por objetivo el de uniformar, tanto en el aspecto de calidad (pureza), como en el de tamaño de grano de la materia prima triturada.

Antes de entrar a la siguiente fase de la elaboración del cemento debemos acotar que la arcilla (Al, Mg) traída de otro lugar, sufre también en la planta una fase de trituración en una trituradora de martillos y una fase de prehomogenización en una pila longitudinal con descarga



automática.

Luego la caliza, arcilla (Al, Mg) y arena ferrosa son almacenadas en tolvas intermedias localizadas antes del molido de crudo, para poder dosificar con exactitud la proporción requerida de cada componente, a fin de obtener la mezcla química necesaria para el tipo de cemento deseado, los diferentes componentes (caliza, arcilla, arena ferrosa) se alimentan en proporciones óptimas a los molinos de crudo que tienen una capacidad de producción de 130 toneladas por hora cada uno, siendo en ellos reducidas las partículas de 15 mm hasta convertirlas en polvo. Esta fase de la elaboración del cemento se conoce como MOLIENDA DE CRUDO y tiene el propósito de preparar una mezcla seca homogénea de la materia prima tanto en las proporciones químicas requeridas como en la finura uniforme, de forma que aseguren el proceso de clinkerización a realizarse en el horno rotatorio. En esta fase se aprovechan los gases de escape del horno para secar en el molino de crudo la mezcla de caliza-arcilla-arena ferrosa, y de ahí que este proceso de elaboración del cemento que se está describiendo se lo conozca como de vía seca. Con el afán de garantizar un mínimo de contaminación, los gases de los hornos que circulan en los molinos de crudo se tornan inofensivos y liberados de polvo en

filtros especiales de mangas.

La mezcla seca homogénea de caliza-arcilla-arena ferrosa obtenida en el proceso de molienda de crudo, se lo conoce generalmente como crudo, el cual es posteriormente transportado a los silos de homogenización, donde se realiza la operación de HOMOGENIZACION, que tiene como finalidad, la de mantener la uniformidad de la mezcla química, es decir evitar la segregación de la mezcla (caliza, aluminio, manganeso, óxido de hierro), que se produce debido a los diferentes pesos de cada elemento de la mezcla, la cual se la logra con el constante mezclado. En la operación de los silos de homogenización se requiere normalmente del empleo de la neumática, la que permite mover y extraer la harina de crudo de una manera fácil, rápido y segura, teniendo como desventaja la generación de material particulado en suspensión en el aire empleado.

La harina de crudo una vez homogenizada se la almacena en silos para posteriormente ser alimentada al precalentador de cuatro etapas, en él que la temperatura del crudo aumenta progresivamente gracias al paso contracorriente de los gases que transitan por el horno y los ciclones (de los precalentadores) en sentido inverso al del material. Las reacciones químicas a que es sometido el crudo,

a muy alta temperatura, lo convierten en un producto que posee ya las características básicas del cemento (fraguado hidráulico) conocido por clinker que da el nombre a esta fase de elaboración conocida por CLINKERIZACION. Los hornos rotatorios empleados trabajan con petróleo y registran temperaturas de alrededor de los 1450°C, siendo las dimensiones de los existentes en la planta "Cerro Blanco" de 4.42 metros de diámetro por 62 metros de largo para el de la línea 1 y de 4.35 metros de diámetro por 66 metros de largo para el de la línea 2, operando en forma continua las 24 horas del día, con una producción de 1600 toneladas de clinker diarias cada uno. El clinker que sale de los hornos rotatorios son descargados en unas enfriadoras de parrilla donde se reduce su temperatura de 1450°C a 150°C, operación que se la realiza casi exclusivamente con la inyección de aire, el mismo que se convierte parte en aire secundario de la combustión del petróleo en los hornos rotatorios y el resto en gases o en aire caliente con material particulado de clinker que deberán ser evacuados a la atmósfera, debiéndose por lo tanto realizar un desempolvado en los filtros electrostáticos, cuya selección y montaje es el tema de ésta memoria técnica.

En la última etapa de la elaboración del cemento por vía seca, que es la conocida por MOLIENDA DE

CEMENTO, se añade yeso al clinker, a fin de regular el tiempo de su fraguado, este proceso se lleva a cabo en los molinos de cemento transformandose los dos elementos en un polvo gris oscuro, que es el producto final conocido por cemento, cuya calidad va de acuerdo al grado de finura del mismo, grado que se evalúa en  $\text{cm}^2/\text{gr}$ , razón conocida por "Blaine". Un parámetro negativo en la molienda de cemento es la temperatura con que sale el cemento (efecto de falso fraguado) por lo que se emplea generalmente la inyección de aire, con su consecuente generación de material particulado, requiriéndose por lo tanto sistemas de filtrado para que el aire evacuado a la atmósfera sea desempolvado.

Una vez obtenido el cemento se lo almacena en silos similares a los empleados para la harina de crudo, para poseer una reserva del producto que permita operar un despacho continuo, ya sea en la presentación de saco de papel kraft con sellado automático de 50 Kg, para bajo consumo, al granel por medio de camiones cisternas de diferentes capacidades, o en la presentación del conocido "Big Bag" o gran saco que consiste en un saco grande tejido (polietileno) de 1000 Kg de capacidad.

## 1.2. GENERACION Y NORMAS AMBIENTALES SOBRE MATERIAL PARTICULADO EN FABRICAS DE CEMENTO DE VIA SECA.

Un fenómeno que acompaña a la trituración, zarandeo, molturación, manipuleo y procesamiento de los materiales componentes del cemento, es la generación de material particulado, dado que tanto el producto final como los intermedios se presentan en forma de polvos. Con el fin de prevenir el escape de polvo al medio ambiente, la mayoría de las instalaciones cementeras (maquinarias y equipos), operan con presiones negativas, requiriendo por lo tanto, la ventilación y limpieza de grandes volúmenes de aire o gases. A continuación enumeramos como ejemplos, los volúmenes de aire y gas que se deben limpiar, para cada una de las etapas de la elaboración del cemento en una planta de vía seca con capacidad de producción de 2000 t/d.

FASE DE ELABORACION	VOLUMEN DE GAS (m <sup>3</sup> /n)
Trituración	35000
Secado de arcilla	75000
Molienda de crudo	225000
Homogenización	115000
Clinkerización	850000
Molienda de cemento	275000
Despacho/Almacenamiento	125000
Total	1'700000

Obtengamos una razón de cuantos Kgs de aire o gas se necesitan manipular por cada Kg de cemento producido, así:

$(1'700000\text{m}^3/\text{h}) / (85000\text{Kg}/\text{h}) = 20 \text{ m}^3/\text{Kg}$  de cemento

Pero 1Kg de aire o gas equivale a  $0.75 \text{ m}^3$  de aire o gas, por lo tanto:

$20 \text{ m}^3/\text{Kg}_{\text{cemento}} = 26.7 \text{ Kg}_{(\text{aire o gas})}/\text{Kg}_{\text{cemento}}$

Necesitando de esta forma para obtener 1Kg de cemento un total de  $26.7 \text{ Kg}_{(\text{aire/gas})}$ , que representa un costo operacional adicional del orden de 5-7 % del total.

De lo anterior se concluye que se deberá trabajar con diferentes tipos de material particulado (de acuerdo en que fase se generan) como son:

- Polvo de las materias primas: piedra caliza, margarga, arcilla, arenilla ferrosa, etc.
- Polvo de crudo: molienda, homogenización.
- Polvo de clinker: horno rotatorio, enfriadoras.
- Polvo de yeso y cemento: molienda, almacenamiento y despacho.

Teniendo estos polvos la misma composición química que la del material original, con la excepción del polvo del clinker (por la transformación química acaecida en la clinkerización), realmente el polvo que escapa de los hornos es una mezcla de crudo y clinker, cuya composición química está influenciada por el tamaño de las partículas expulsadas por los gases del horno.

Para controlar la evacuación de estos aerosoles se utilizan diferentes sistemas de colección de polvo,

como son los ciclones, filtros de mangas, precipitadores electrostáticos, filtros de lecho granular, etc., cuya correcta selección depende del tamaño de las partículas y al contenido de gramos por metros cúbicos estandarizados de aire o gas de salida.

Presentamos a continuación una tabla donde se enumera tanto la distribución del tamaño de las partículas expresadas en micrones (1/100 mm) como su contenido de polvo medido en gramos por metros cúbicos estandarizados del aire o gases de salida, para la producción particular de los diferentes procesos.

Equipo generador de polvo	Dist. tam. part.		Contenido del polvo (gr/Nm <sup>3</sup> )
	Fracc. (µm)	%	
Trituradoras	0- 20	20-25	70- 230
	0- 60	10-15	230- 300 (P.G.)
	60-100	50-60	300- 600 (P.F.)
Zarandas			230- 300
Molino de crudo	0- 20	70-80	3000-1200
Horno rotatorio costo de vía seca con prec. por sus.	0- 10	90-95	710-1100
	10-100	5-10	
Enf. de parrilla			150-230
Molino de cemento	0- 10	10-20	300-1200
	10- 40	30-40	
	40- 80	25-35	
Ensac. cemento			300- 500

Antes de la segunda guerra mundial, la industria cementera operaba en un rango de emisión de polvo del orden del 6-8% de la tasa de producción, rango que se redujo al 4-5% en la década del 55 al 65.

A continuación presentaremos un pequeño resumen de las más importantes regulaciones sobre la emisión de polvo de varios países recientemente emitidos.

E.E.U.U.- La agencia para la protección ambiental de los E.E.U.U., emitió los estándares de rendimiento efectivo el 31 de Enero de 1972, cuyas estipulaciones son aplicables a los siguientes equipos y maquinarias de una planta de cemento portland: Horno, enfriadora de clinker, sistema de molienda de crudo, sistema de molienda de cemento, secadoras para la molienda de crudo, silos de crudo, silos de cemento, transportadores, despacho, y reza así:

La emisión de material particulado en la atmósfera está limitada como sigue:

- 1.- Un máximo de 0.3 lb para el horno por tonelada de crudo alimentado (0.15 Kg por tonelada métrica); la emisión visible del horno no debe ser mayor que el 10 % de opacidad (# 0.5 de la escala de Ringelmann).
- 2.- Un máximo de 0.1 lb para la enfriadora de clinker por tonelada de crudo alimentada al horno (0.05 Kg por tonelada métrica) la emisión visi-



ble de la enfriadora de clinker no debe ser mayor que el 10 % de opacidad (# 0.5 de la escala de Ringelmann).

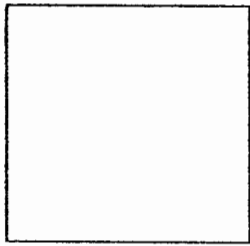
3.- La misma regla se aplica en los otros equipos de una planta de cemento.

La escala de humos de Ringelmann (1897) se emplea en la Gran Bretaña, Francia y los E.E.U.U, principalmente para el control de la emisión en hornos industriales; ésta carta no es admitida en Alemania. Esta escala se basa en una evaluación visual de la estructura de la colección de polvo, y es un esquema de graduaciones de sombras desde el blanco al negro, y consiste particularmente de rectángulos de mallas de líneas negras de ancho definido y espacios blancos en el fondo. Los grados de opacidad son de 0, 20, 40, 60 y 80 % que corresponden a las cartas 0, 1, 2, 3, y 4. Ver figura 1.2.

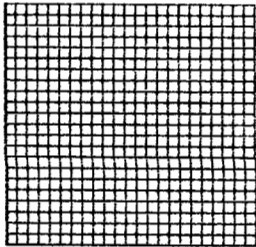
República Federal Alemana.- El instructivo técnico para la regulación de limpieza del aire emitida el 28 de Agosto de 1974 por la secretaria del interior contiene los niveles de emisión límite para varias instalaciones industriales, siendo las referentes a una instalación cementera las siguientes:

a. La emisión de partículas sólidas en los gases de escape no debe exceder los siguientes límites.

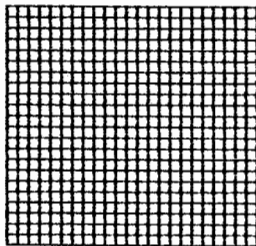
Instalaciones que no esté equipada con precipitador electrostático =  $1.10 \text{ gramos/Nm}^3$



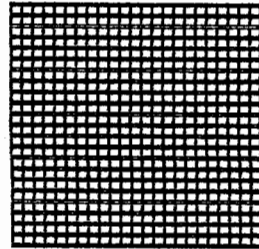
Carta 0  
0 %



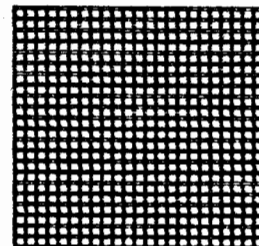
Carta 1  
20 %



Carta 2  
40 %



Carta 3  
60 %



Carta 4  
80 %

Figura 1.2.- CARTAS DE HUMOS DE RINGELMANN

Instalaciones que están equipadas con precipitador electrostático = 1.60 gramos/Nm<sup>3</sup>

Instalaciones con alta resistencia eléctrica con precipitador electrostático = 2.10 gramos/Nm<sup>3</sup>

- b. El clinker debe ser almacenado en silos.
- c. Los hornos de cemento deben estar equipados con un indicador para el registro continuo de la concentración de la emisión de polvo, práctica que debe ser aplicada a otros equipos como son las enfriadoras de clinker.

República Democrática Alemana.- Cuando se emplea precipitadores electrostáticos el contenido de polvo en la emisión de gases no debe exceder a 1.5 gramos/Nm<sup>3</sup>.

Checoslovaquia.- La precipitación permitida de material particulado en las inmediaciones de una instalación cementera es como máximo de 427 toneladas cortas/milla cuadrada al año, lo que equivale a 6.35 gramos/m<sup>2</sup> cada 24 horas.

Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas.- Cuando se emplea precipitadores electrostáticos el contenido de polvo en la emisión de gases no debe exceder a 1.35 gramos/Nm<sup>3</sup>.

Ecuador.- No existen normas.

### 1.3. EQUIPOS GENERALMENTE EMPLEADOS PARA CONTROLAR LA CONTAMINACION ATMOSFERICA POR PARTICULAS EN FABRICAS DE CEMENTO POR VIA SECA.

El material particulado comunmente llamado polvo, es la emision básica en la elaboracion del cemento portland, empleandose para el control del mismo, los equipos conocidos por colectores mecánicos, teniendo por ejemplo los siguientes: multiciclones, filtros de mangas, filtros de lecho granular, precipitadores electrostáticos.

Con el fin de lograr los niveles de emision permitidos, se aplican los equipos de control dependiendo de la intensidad y temperatura de los afluyentes.

Los colectores de polvo son evaluados por su eficiencia, que es la razón de la cantidad de polvo precipitado sobre la cantidad total de polvo introducido en el equipo de control, y se expresa en porcentaje. En los colectores de polvo siempre se opera con gas en movimiento y por lo tanto existirá una caída de presión o resistencia a la succión que se expresa en mm o pulg de columna de agua.

**Cámaras de sedimentación por gravedad.-** Estas cámaras son de los equipos de más importancia para el pre-limpado de gases con alto nivel de contenido de polvo, y operan bajo el principio de remoción de polvo reduciendo la velocidad del gas o flujo de

aire que viene directamente del equipo generador del material particulado, el cual se introduce en una cámara de gran volumen donde se produce la caída de la velocidad y por lo tanto la precipitación de las partículas de gran tamaño por efecto de la gravedad. Estos equipos de control por ser de simple construcción son los de más bajo costo, pero al mismo tiempo son los de menor eficiencia, del rango de 30-70% para el típico polvo de una instalación cementera, la velocidad del flujo no debe exceder los 30.5 m/min y la caída de presión es del orden de 5-25.4 mm H<sub>2</sub>O

En la figura 1.3 se presenta un esquema de dos diferentes diseños de cámaras de sedimentación por gravedad.

Ciclones.- Los ciclones consisten esencialmente en dos secciones: una cilíndrica y una cónica. En la parte superior de la sección cilíndrica el gas ingresa tangencialmente y se provoca un flujo en forma espiral a lo largo de la pared hacia la sección cónica (vortex exterior), donde cambia de sentido y gira por el centro hacia arriba (vortex interior) en dirección del ducto de salida de los gases.

Las fuerzas centrífugas presionan las partículas de polvo sobre la pared, donde se acumulan y se precipitan por efecto de la gravedad y del vortex

exterior. Las partículas precipitadas en el cono del ciclón son removidas generalmente por una válvula rotativa o un transportador de tornillo.

La eficiencia de los ciclones es inversamente proporcional a su diámetro, así tenemos que a los diámetros de: 230, 410, 610 y 3150 mm le corresponden las siguientes eficiencias: 96.7, 92.6, 88.2 y 57.5% respectivamente.

Los ciclones son los equipos de control de la contaminación atmosférica de más bajo costo sin partes en movimiento y pueden ser suministradas con refractarios para altas temperaturas sobre los 980°C.

La caída de presión en los ciclones está en el rango de 30.5 a 165 mm de H<sub>2</sub>O y depende de: la temperatura del gas, del tamaño del ciclón y de la velocidad del gas de ingreso.

En la figura 1.4, se presenta un esquema del diseño proporcional de un ciclón separador de polvo.

Multiciclones.- Los multiciclones se desarrollaron a partir de la experiencia de que el diámetro de los ciclones con mejor eficiencia esta en el rango de 150 a 300 mm, pero con la desventaja de que su capacidad es baja, en el orden de los 25.5 m<sup>3</sup>/min.

Por lo que para grandes volúmenes de gas se construyen una gran cantidad de pequeños ciclones que son combinados en grupos comunmente llamados

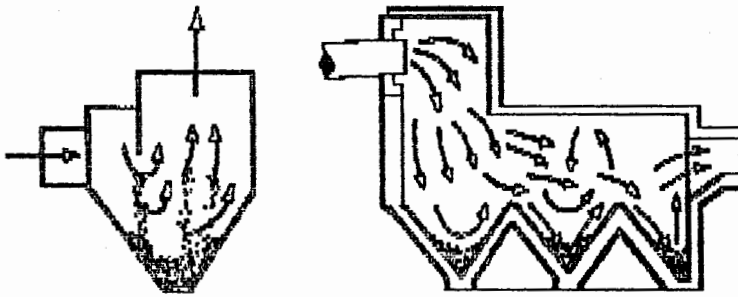


FIGURA 1.3.- ESQUEMAS DE DOS TIPOS DE CAMARAS DE SEDIMENTACION POR GRAVEDAD, PARA POLVO DE ENFRIADORA DE CLINKER POR AIRE.

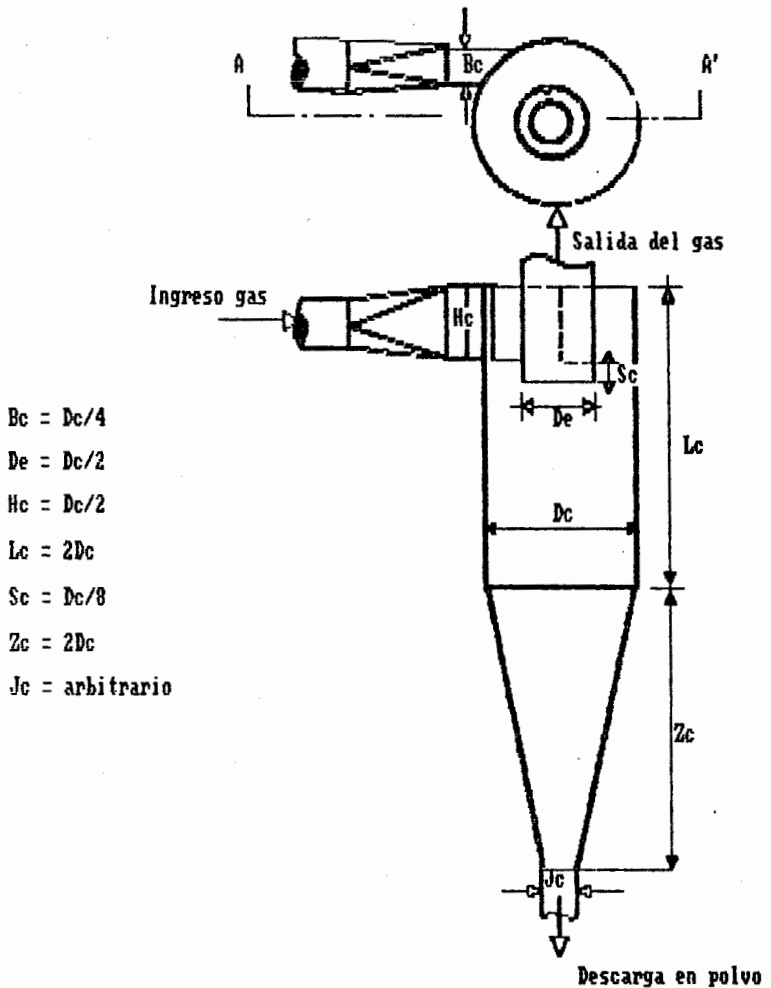


FIGURA 1.4.- ESQUEMA DE DISEÑO PROPORCIONAL DE UN SEPARADOR DE POLVO

multiciclones que se encuentran encerrados en una unidad y arreglados en bancos para flujo paralelo con la alimentación del gas desde un plenum, con una tolva común para la salida del gas limpio.

La eficiencia de los multiciclones está en el rango de 85 a 94% para la colección de partículas de 15 a 20  $\mu\text{m}$  de diámetro y con una caída de presión del orden de 130 a 180 mm de  $\text{H}_2\text{O}$ . Una desventaja de los multiciclones es el obturamiento que se produce en los pequeños tubos que posee, generalmente se lo utiliza como equipo principal de colección de polvo, en países donde las regulaciones para la emisión de polvo no son estrictas y como un pre-limpiador en los de normas estrictas.

En la figura 1.5, se presenta un esquema de la sección longitudinal de un multiciclón para la colección de polvo para una enfriadora de clinker por aire.

Filtros de mangas.- Los filtros de mangas usados en la industria cementera, generalmente están formados por tubos de 305 mm de diámetro o menos y sobre los 9150 mm de alto, manufacturados con fibras naturales o sintéticas, los mismos que pueden manipular pequeñas partículas en el rango del sub-micrón y a eficiencias tan altas como del orden del 99.95%, dependiendo del tipo de fibra utilizada en el tejido, los filtros de mangas pueden ser aplicados



en gases con temperaturas sobre los  $290^{\circ}\text{C}$ . Los filtros de mangas operan con una caída de presión del orden de los 200 a 250 mm  $\text{H}_2\text{O}$ .

A medida que el filtro va operando, las partículas de polvo se van reteniendo en el tejido de las mangas, provocando un incremento en la caída de presión del sistema, requiriendo por lo tanto de una limpieza de las mismas, existiendo los siguientes tipos de limpieza, cuya selección depende del tipo de fibra y característica del polvo.

a. Vibración de las mangas; éste método consiste en impartir un ligero movimiento oscilatorio en la parte superior de las mangas de forma que el polvo adherido a la manga colapse a una tolva de recolección.

b. Aire revertido; en éste método colapsa la manga por un diferencial de aire a presión más un desprendimiento de la costra de polvo adherido a las mangas.

c. Pulso de aire comprimido; éste método consiste en inyectar aire comprimido a las mangas desde el interior de las mismas, de forma que se expanda rápidamente la manga, provocando el colapso de la costra de polvo adherido, todo esto realizado en unos 300 milisegundos y con un aire a unos 7 bar, con una tasa de consumo de aire del orden de 30 litros por cada 13000 litros de aire limpio.

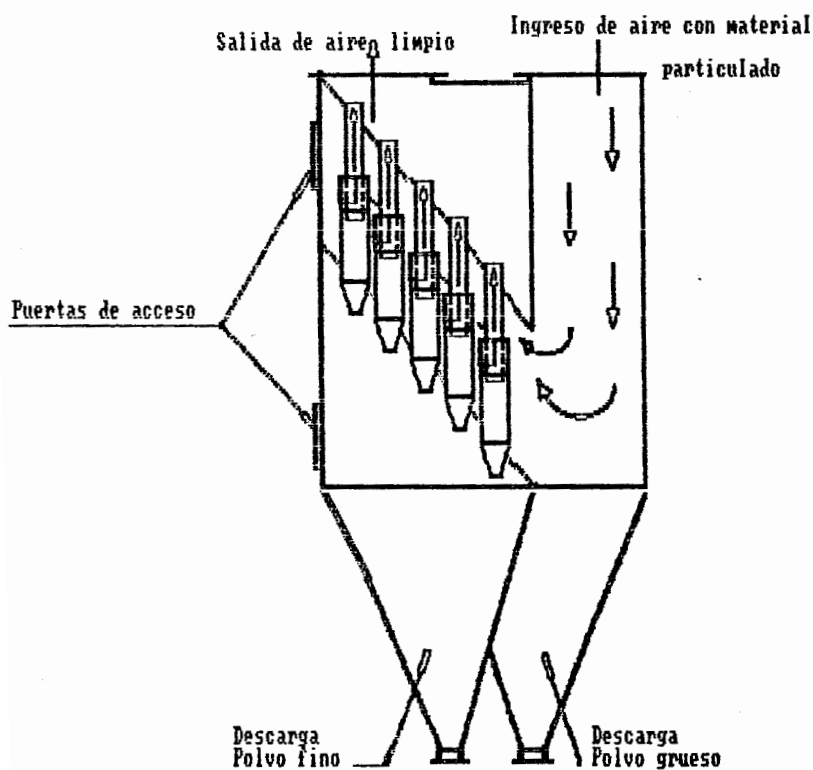


FIGURA 1.5.- ESQUEMA LONGITUDINAL DE UN MULTICICLON PARA COLECCION DE POLVO PARA UNA ENFRIADORA DE CLINKER, POR AIRE.

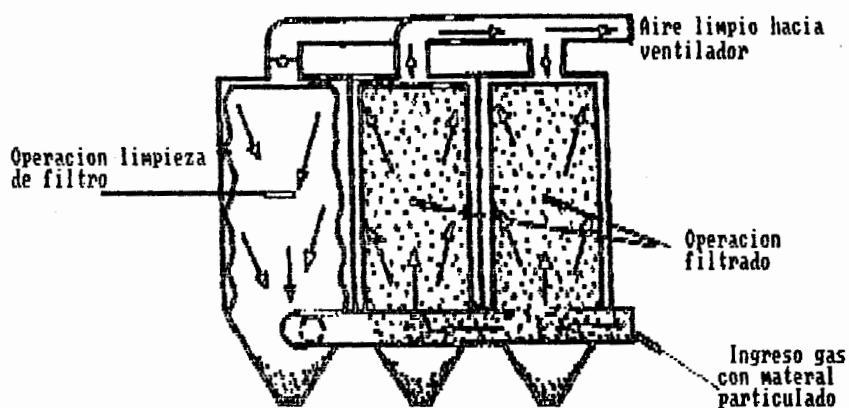


FIGURA 1.6.- ESQUEMA LONGITUDINAL DE UN FILTRO DE MANGA.

d. Limpiado por sonido; éste método emplea un generador de sonido el cual produce un sonido de baja frecuencia (200 Hz/seg, a una intensidad 100 a 150 db) que causa una vibración en las mangas, ésta vibración combinada con el aire revertido provoca el colapso de la costra de polvo.

Cuando se realiza la operación de limpieza en un cubículo, éste se encontrará en una situación de fuera de servicio, es por esto que los filtros de mangas se construyen como un grupo de compartimientos, donde cada uno de ellos es una unidad independiente, con su respectiva compuerta de control para el ingreso del gas sucio y del aire revertido.

En la figura 1.6, se presenta un esquema de la sección longitudinal de un filtro de mangas para la colección de polvo para una enfriadora de clinker por aire.

Filtro de lecho granulado.- Estos equipos consisten de una combinación de un ciclón colector con una cama granulada, en donde los gases portadores de polvo ingresan a un plenum que provoca una pérdida de velocidad, con la consecuente precipitación de las partículas gruesas por efecto de la gravedad, los gases posteriormente ingresan a la sección separadora tipo ciclón, donde las partículas tamaño mediano son precipitadas, a continuación los gases

ya pre-limpiados pasaran a través de la cama granular desde arriba hacia abajo, reteniendo esta cama granular las partículas de polvo en los espacios vacíos hasta llenarlos, de esta forma los gases que salen del equipo son de un alto nivel de pureza.

Los filtros de lecho granular requieren de una operación de limpieza actuada intermitentemente por un regulador de tiempo. Durante el ciclo de limpieza la unidad es desconectada de su operación normal, y el aire es revertido en la cama granular, al mismo tiempo que un motor remueve el lecho granular. Los filtros del lecho granular son resistentes a la abrasión y como resultado se tiene una eficiencia constante, además es inmune a las altas temperaturas (sobre los  $550^{\circ}\text{C}$ ), no requiriendo por lo tanto enfriar los gases que ingresan, teniendo de esta forma que los gases limpios a la salida poseen un alto nivel energético que puede utilizarse para secar ó en otras funciones.

Otra ventaja de los filtros de lecho granular es que su funcionamiento no es influenciado por las variaciones de temperaturas y de los volúmenes de gas, así como por el cambio de distribución del tamaño de las partículas contenidas en los gases.

En la industria cementera los filtros de lecho granular son aplicados principalmente para la

colección de polvos de los gases de escape de la enfriadora de clinker, especialmente si son de grandes dimensiones.

La eficiencia de estos equipos de colección de polvo es del orden de los 99.9%, con una caída de presión de unos 150 mm H<sub>2</sub>O.

La figura 1.7, presenta un esquema de la sección longitudinal de un filtro de lecho granular para la colección de polvo para una enfriadora de clinker por aire.

Los precipitadores electrostáticos; la colección de polvo en los precipitadores se basa en la utilización del efecto de la ionización de un gas sometido a un fuerte campo eléctrico.

Los precipitadores electrostáticos están constituidos, por los electrodos de emisión (efecto corona, negativo) y por los electrodos de colección (positivo), ensamblados en una gran cámara (similar a las cámaras de sedimentación por gravedad).

Bajo la influencia de un alto voltaje (de alrededor de 40 a 80000 V de corriente continua) entre los dos electrodos (Emisión-Colección), el de emisión genera electrodos que provocan la polarización de las moléculas del gas circundante al mismo, en iones positivos y negativos, y estos a su vez por el efecto del fuerte campo magnético migraran hacia el electrodo colector (positivo) el cual está

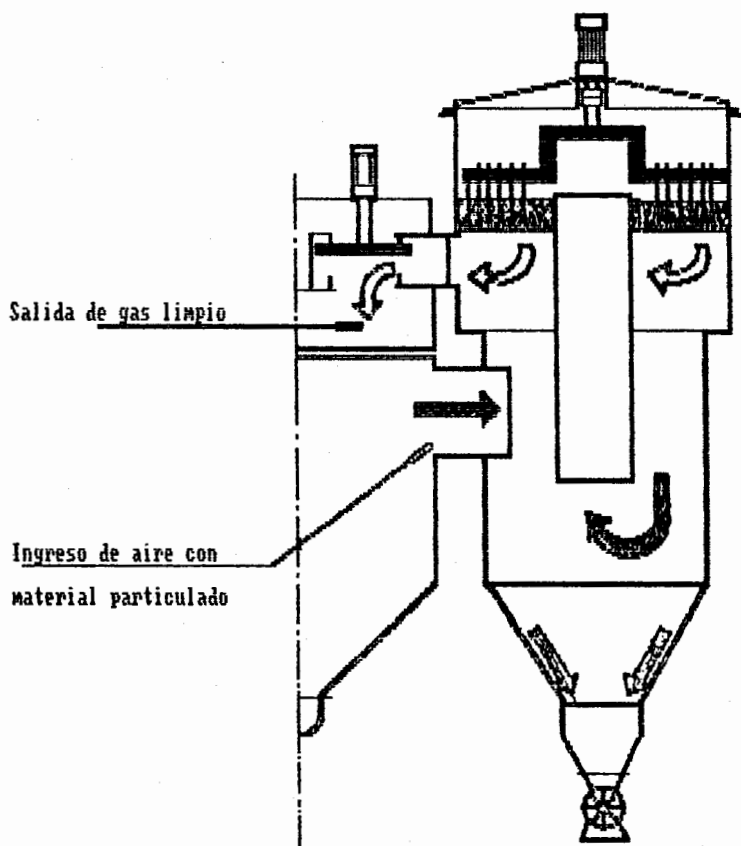


FIGURA 1.7.- ESQUEMA LONGITUDINAL DE UN FILTRO DE LECHO DE GRAVA

aterrizado.

Así tenemos que el gas saturado de polvo es ionizado y las partículas de polvo ionizadas son atraídas hacia el electrodo colector donde son precipitadas y neutralizadas y por medio de una vibración la costra de polvo adherido a las placas colectoras es removido y recogido en las tolvas sin embargo una pequeña cantidad de polvo puede ser cargada positivamente y adosarse al electrodo emisor, el cual se lo limpiará por medio de una vibración.

Podemos de esta forma concluir que los precipitadores electrostáticos se basan en tres simples procedimientos, los cuales son decisivos para la precipitación electrostática: efecto corona, ionización de las partículas y precipitación de las partículas.

Las características del polvo y del gas portador son de gran importancia para la operación de un precipitador electrostático. La velocidad con la cual el polvo es atraído por el electrodo colector (velocidad de viaje) es importante para la eficiencia de la colección, y depende del voltaje en el efecto corona, la intensidad del campo eléctrico, el tamaño de la partícula y de la viscosidad del gas. Bajo condiciones favorables la eficiencia de la colección es sobre los 99.8%, con una caída de presión de 15 a 20 mm H<sub>2</sub>O y con un suministro de

potencia específica muy baja del orden de 0.005 a 0.008 Kwh/30m<sup>3</sup> de gas lo que equivale a un 0.65 Kwh/Ton de clinker.

En la figura 1.8 se presenta un esquema de la sección longitudinal de un precipitador electrostático.



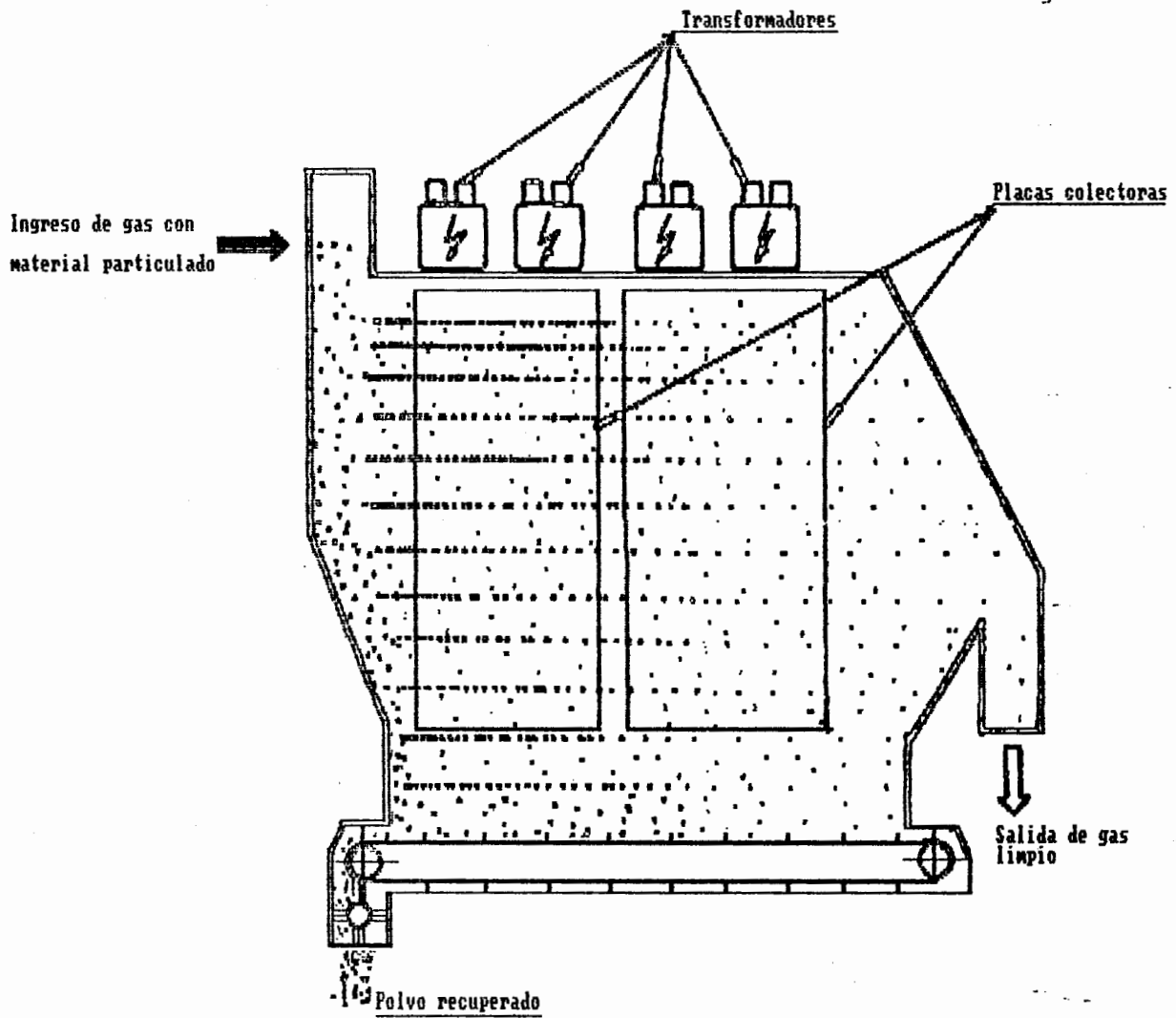


FIGURA 1.8.- ESQUEMA LONGITUDINAL DE UN PRECIPITADOR ELECTROSTATICO DE DOS CAMPOS

## CAPITULO II

### SELECCION Y DESCRIPCION DEL EQUIPO A INSTALAR

#### 2.1. SELECCION DEL EQUIPO.

Introducción.- El desempolvado de los gases excedentes de las enfriadoras de clinker en la planta "Cerro Blanco", se hace mediante una batería de multicyclones.

La experiencia obtenida con la operación de estos multicyclones, ha resaltado graves problemas, de los cuales los principales son:

- a. Baja eficiencia, debida especialmente a la fineza del clinker producido.
- b. Gastos muy elevados de mantenimiento, tanto en los multicyclones mismos, como en el ventilador, debido a la abrasión.
- c. Sensibilidad ante las variaciones del caudal de gas.
- d. Gran contaminación atmosférica por material particulado dentro de la planta, causando costos elevados de mantenimiento y limpieza.

Ante estos problemas y considerando que la recuperación de material mediante un sistema de desempolvado efectivo es económicamente atractiva, se analizarán en esta sección diferentes alternativas para reemplazar el sistema de multicyclones.

Las alternativas estudiadas son las siguientes:

1. Filtro de mangas
2. Filtro de mangas con intercambiador de calor
3. Filtro de mangas de acero inoxidable
4. Circuito cerrado
5. Filtro de lecho de grava
6. Filtro electrostático

Parámetros de diseño.- El sistema de desempolvado debe ser diseñado de tal manera que pueda absorber sin dificultad la ampliación de la capacidad de producción de las líneas que ha sido prevista a 2000 t/d.

De acuerdo con el estudio de ampliación efectuado por Holtec, se calcula con un volumen específico de los gases a ser desempolvados de  $1.75 \text{ Nm}^3/\text{Kg}_{\text{clinker}}$ , por lo que el volumen total de los gases a desempolvarse será de  $145840 \text{ Nm}^3/\text{h}$ .

En condiciones normales de operación tendremos  $t=200^\circ\text{C}$  con un volumen de  $252670 \text{ m}^3/\text{h}$ , y en condiciones pico de operación tendremos  $t= 420^\circ\text{C}$  y el volumen será  $370210 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Para el cálculo de los ventiladores se asumió un factor de seguridad de 1.1, para el volumen a manejarse y por lo tanto de 1.21 para la presión necesaria.

La ecuación utilizada para calcular la potencia es:

$$P_m = 3.6 \times 10^{-6} Q \sqrt{\Delta P}$$

Donde:

$P_m$  = Potencia del motor, HP

$Q$  = Caudal de gases,  $m^3/hr$

$\Delta P$  = Caída de presión, mm  $H_2O$

Para el contenido de polvo en los gases sin desempolvar y en los gases limpios se asumen y exigen los siguientes valores.

Cont. polvo del gas sin desempolvar  $\approx 20$  g/ $Nm^3$

en condiciones extremas  $\approx 50$  g/ $Nm^3$

Cont. polvo deseado en gas limpio  $< 150$  mg/ $Nm^3$

Estudio técnico de las diferentes alternativas.- A continuación se evaluarán las diferentes alternativas en cuanto a sus necesidades de equipo, consumo de energía, ventajas y desventajas de tipo cualitativo, experiencias prácticas, etc.

Este análisis, junto con el análisis económico que se realizará posteriormente nos permitirá una selección de la alternativa a utilizar.

Filtro de mangas.- El filtro de mangas es uno de los sistemas que mayor empleo ha tenido en el desempolvado de gases de las enfriadoras de clinker.

Ver en la figura 2.1 el diagrama de flujo de una instalación de este tipo.

Como se anotó anteriormente la temperatura de los gases a desempolvarse fluctúa entre  $200^\circ C$  y  $420^\circ C$ , debiéndose emplear mangas de material apropiado que garanticen una operación adecuada, se hace necesario

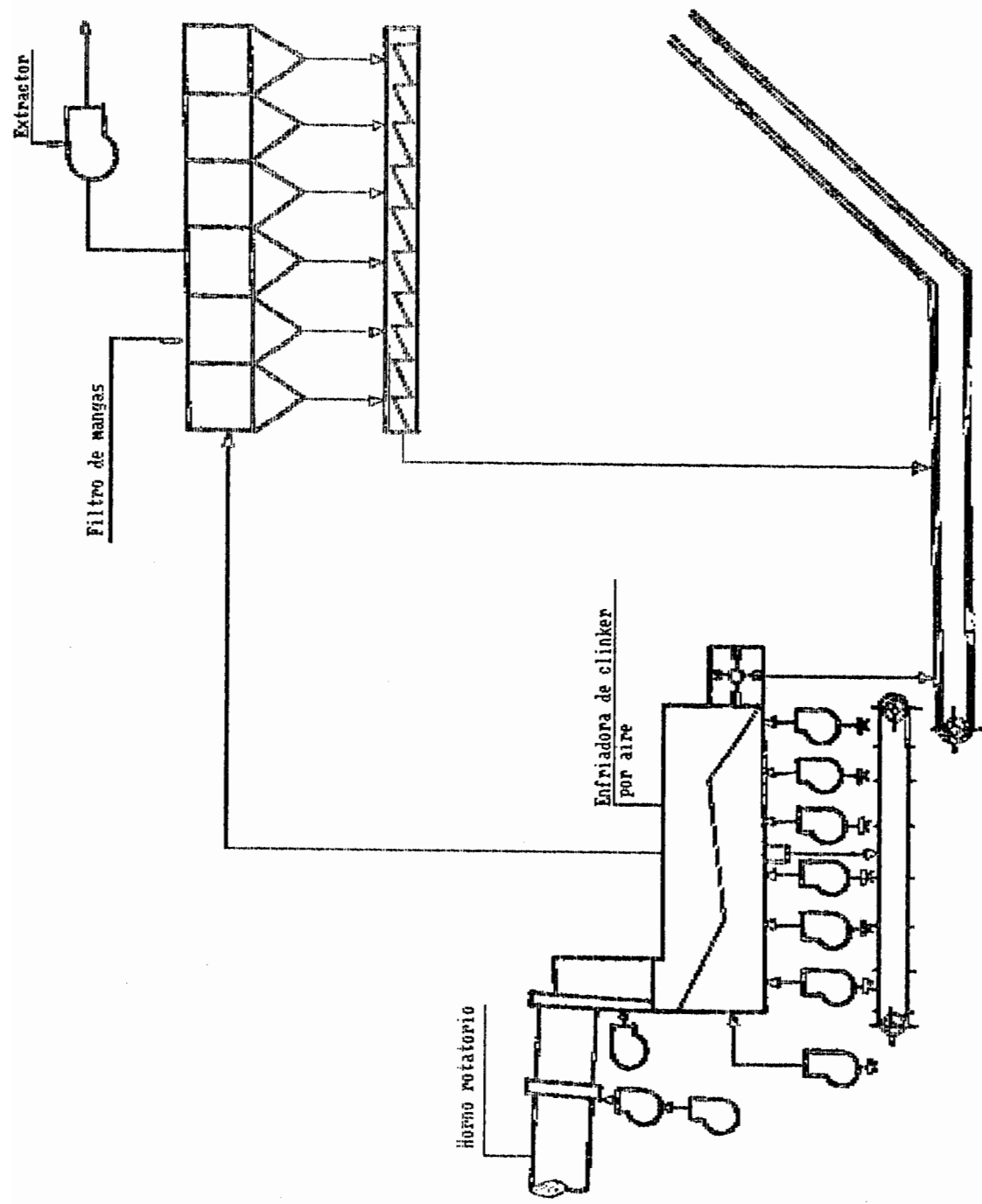


FIGURA 2.1.1.- DIAGRAMA DE FLUJO DE UN SISTEMA DE COLECCION CON FILTRO DE MANGAS

diluir los gases de desempolvado con aire frío para disminuir la temperatura a límites aceptables en caso de avalanchas.

Si se desea mantener aún en condiciones pico una temperatura de  $200^{\circ}\text{C}$ , la cantidad de aire auxiliar que se deberá mezclar será de  $194560 \text{ Nm}^3/\text{h}$ , siendo el volumen total a manejarse  $340400 \text{ Nm}^3/\text{h}$  que a  $200^{\circ}\text{C}$  son  $590000 \text{ m}^3/\text{h}$ .

La caída de presión en todo el sistema se calcula en aproximadamente  $430 \text{ mm H}_2\text{O}$ .

#### Diseño del ventilador

El ventilador deberá estar diseñado para manejar:

$$590000 \text{ m}^3/\text{h} * 1.1 = 649000 \text{ m}^3/\text{h}$$

y

$$430 \text{ mm H}_2\text{O} * 1.21 = 520 \text{ mm H}_2\text{O}.$$

La potencia del motor será aproximadamente:

$$P_m = 1250 \text{ HP}$$

El consumo aproximado de energía, de todo el sistema será:

$$W = 600 \text{ Kw-h}$$

#### Diseño del filtro

Asumiendo que la relación aire/área de filtrado en ningún caso sobrepase  $2.1 \text{ m}^3/\text{min-m}^2$ , teniendo por lo tanto:

$$\text{Area bruta de filtrado: } 5910 \text{ m}^2 \text{ a } 1.83 \text{ m}^3/\text{min-m}^2$$

Es decir que el filtro estará compuesto de 10 compartimientos de  $591 \text{ m}^2$  de área de filtrado cada

uno.

#### VENTAJAS DEL SISTEMA:

- Alta eficiencia
- Costo relativamente bajo de adquisición
- Sistema conocido por el personal de operación

#### DESVENTAJAS DEL SISTEMA

- Alto consumo de energía (600 Kw-h).
- Alto costo de mantenimiento: se calcula que se reemplaza la totalidad de las mangas c/dos años.
- Alto requerimiento de espacio.
- La seguridad de las mangas contra altas temperaturas depende de la velocidad de reacción del damper de aire frío.

Filtros de manga con intercambiador de calor.- Con el objeto de evitar el sobredimensionamiento del filtro al tener que manejar un gran volumen de aire falso en caso de avalanchas, en esta alternativa se instala un enfriador aire/aire antes del filtro, de tal manera que aún en casos extremos la temperatura del gas que entre al filtro no exceda de 218°C. ver en la figura 2.2 el diagrama de flujo de una instalación de este tipo.

Después de pasar por el intercambiador de calor los volúmenes de gas que deberá manejar el filtro de gas serán:

Operación normal a 116°C = 207800 m<sup>3</sup>/h.

Operación extrema a 218°C = 262300 m<sup>3</sup>/h.

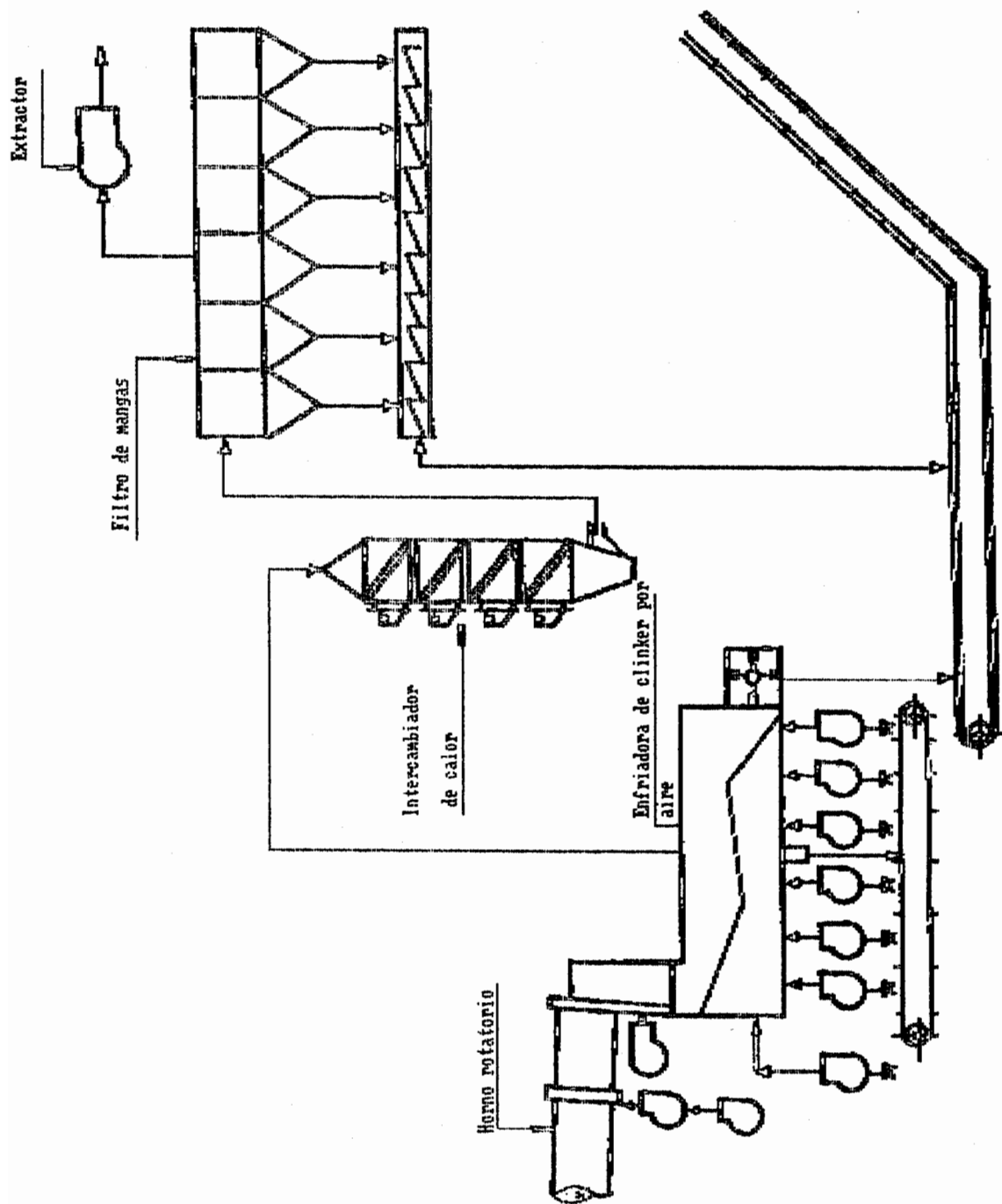


FIGURA 2.2.- DIAGRAMA DE FLUJO DE UN SISTEMA DE COLECCION CON FILTRO DE MANGAS E INTERCAMBIADOR DE CALOR



Estimandose la caída de presión en todo el sistema en 500 mm H<sub>2</sub>O.

Debiendo por lo tanto el ventilador tener una potencia de  $P_m = 650$  HP para manejar los 288530 m<sup>3</sup>/h a 218°C, con una caída de 610 mm H<sub>2</sub>O.

Por su lado el intercambiador de calor tendrá que manipular los 370210 m<sup>3</sup>/h a 420°C y reducir la temperatura de los mismos hasta 218°C, requiriendo los ventiladores empleados de una potencia de 180 HP.

Asumiendo la misma relación máxima aire/aire de filtrado que en el caso anterior, el área de filtrado será:

Area bruta de filtrado = 3576m<sup>2</sup> a 1.344 m<sup>3</sup>/mm-m<sup>2</sup>

El filtro estará compuesto de 6 compartimientos de 596 m<sup>2</sup> de área de filtrado cada uno.

El consumo de energía del sistema se estima en 500 Kw-h.

#### VENTAJAS DEL SISTEMA:

- Alta eficiencia
- Costo relativamente bajo de adquisición
- Sistema conocido por el personal de operación y ya probado en muchas plantas.

#### DESVENTAJAS DEL SISTEMA

- Alto costo de energía (500 Kw-h).
- Alto costo de mantenimiento.
- Probable abrasión en el intercambiador de calor.

Filtro con mangas de acero inoxidable.- Una alternativa que hace poco tiempo se encuentra en el mercado son las mangas de acero inoxidable (Bekipor<sup>®</sup>), que de acuerdo a los fabricantes pueden soportar temperaturas de hasta 500°C por cortos períodos de tiempo. (Ver figura 2.3).

El filtro moverá los mismos volúmenes de gases y la misma caída de presión planteados en los parámetros de diseño, así tendremos: 407240 m<sup>3</sup>/h a 420°C y 510 mm H<sub>2</sub>O.

Requiriéndose un motor con una potencia de  $P_m = 770$  HP y con un consumo de energía del sistema de  $W = 400$  Kw-h.

Para determinar el área de filtrado nos basamos en la información proporcionada por el fabricante del equipo que es de hasta 3.6 m<sup>3</sup>/min-m<sup>2</sup>, así tendremos:  
Área bruta de filtrado = 2384m<sup>2</sup> a 2.8 m<sup>3</sup>/min-m<sup>2</sup>

El filtro estará compuesto de 4 compartimientos de 596 m<sup>2</sup> de área de filtrado cada uno.

#### VENTAJAS DEL SISTEMA:

- Alta eficiencia.
- Mediano consumo de energía (400 Kw-hr).
- Poco espacio.
- Gran duración de las mangas.
- Insensibles a altas temperaturas.

#### DESVENTAJAS DEL SISTEMA

- Alto costo inicial.

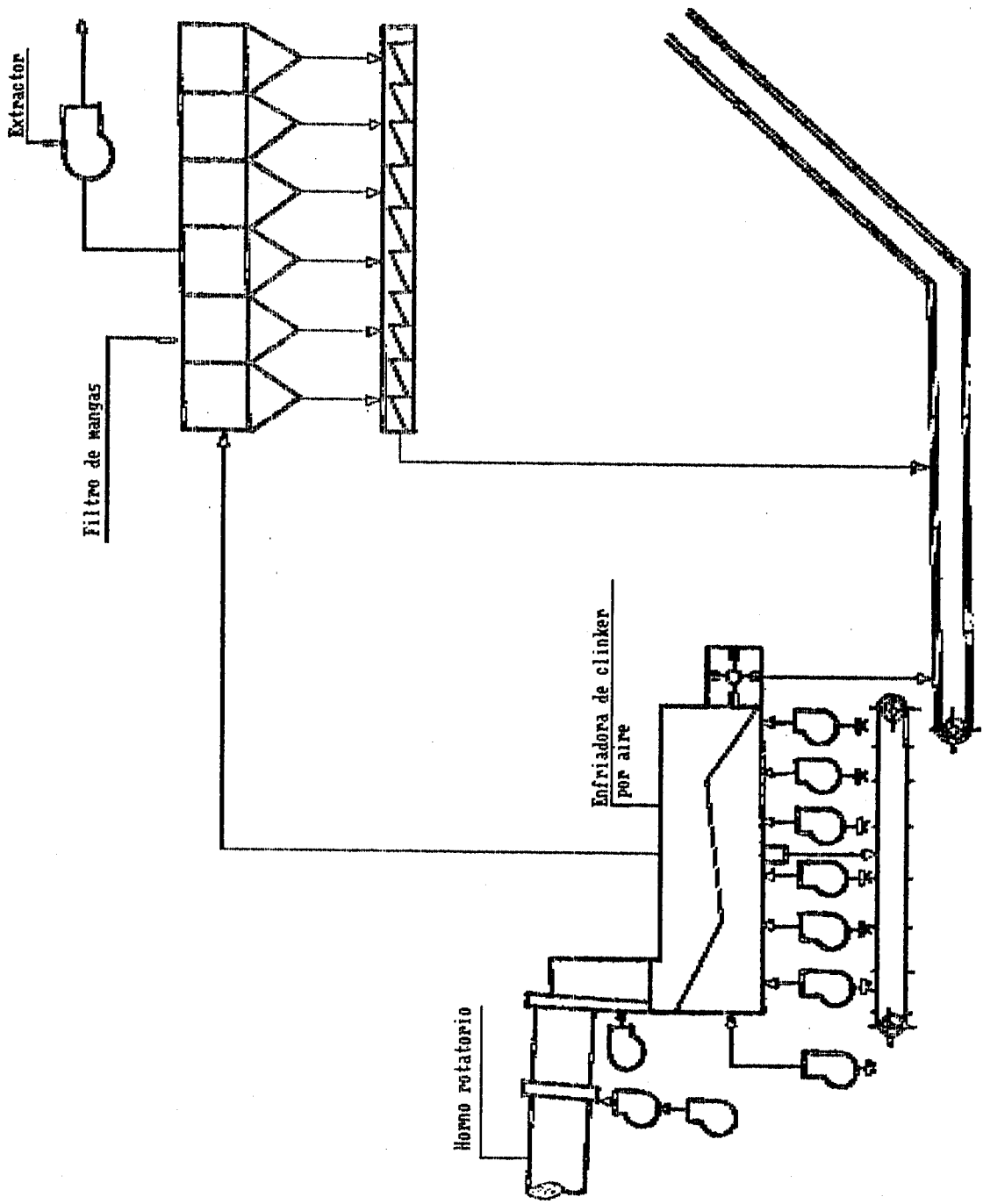


FIGURA 2.3.- DIAGRAMA DE FLUJO DE UN SISTEMA DE COLECCION DE ACERO INOXIDABLE

- Sistema poco probado.

Circuito cerrado.- En este sistema el aire de enfriamiento es regresado a la enfriadora luego de pasar por un intercambiador de calor, en la figura 2.4 podemos ver el diagrama de flujo de una instalación de este tipo. Los resultados obtenidos de las aplicaciones en diferentes plantas hacen considerar el sistema de circuito cerrado como una alternativa válida para el desempolvado de enfriadoras de parrilla.

Después de pasar por el intercambiador de calor la temperatura de los gases será:

Temperatura normal:  $100^{\circ}\text{C}$

Temperatura extrema:  $150^{\circ}\text{C}$

Así tendremos que el ventilador manejará  $248600 \text{ m}^3/\text{h}$  a  $150^{\circ}\text{C}$  y  $410 \text{ mm H}_2\text{O}$ .

Requiriendo para el mismo una potencia de  $P_m = 375$  HP, con un consumo total aproximado de energía de  $W=405 \text{ KW-h}$ .

VENTAJAS DEL SISTEMA:

- No hay emisión de polvo.
- Sistema muy simple.
- Baja inversión inicial.
- Costos moderados de operación.
- Bajos costos de mantenimiento.

DESVENTAJAS DEL SISTEMA

- Pocas unidades en operación y por lo tanto escasa

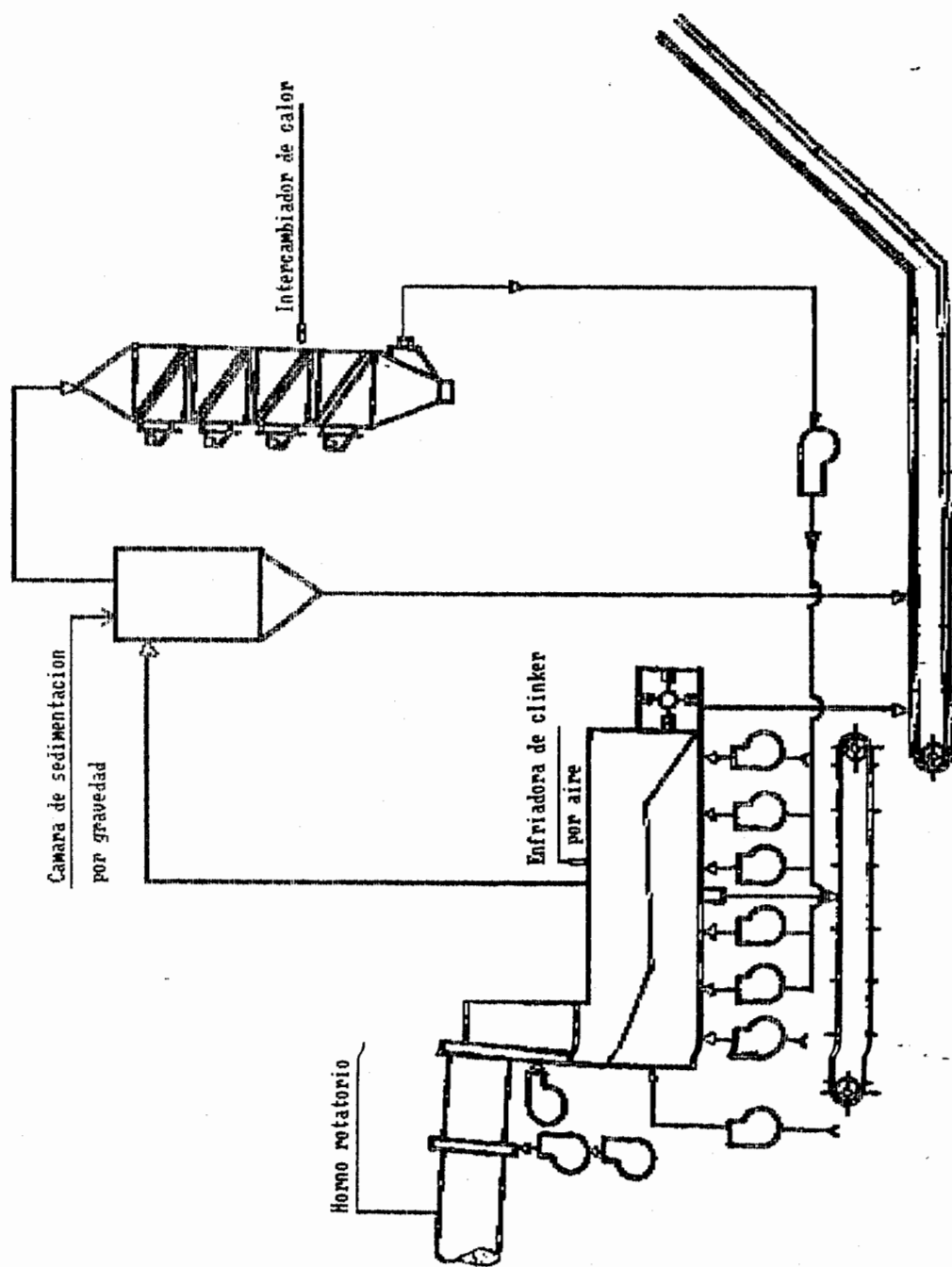


FIGURA 2.4.- DIAGRAMA DE FLUJO DE UN SISTEMA DE COLECCION POR CIRCUITO CERRADO

experiencia.

- Posible abrasión en la turbina del ventilador.

Filtro de lecho de grava.- Este sistema es aplicado desde hace muchos años, especialmente en Europa con excelentes resultados, en la figura 2.5 se puede observar el diagrama de flujo de una instalación de este tipo.

Los volúmenes de gases a despolvarse serán:

a 200°C 252670 m<sup>3</sup>/h; a 420°C 370210 m<sup>3</sup>/h

Con una caída de presión en todo el sistema de 500 mm H<sub>2</sub>O.

Requeriéndose por lo tanto un ventilador capaz de manejar 407240 m<sup>3</sup>/h a 420°C con una caída de 363 mm H<sub>2</sub>O, con una potencia aproximada de P<sub>m</sub> = 920 HP y un consumo total del sistema de W = 500 Kw-h.

VENTAJAS DEL SISTEMA:

- Alta eficiencia.
- No es sensible a elevaciones de temperatura.
- Experiencias con muchas unidades en operación.

DESVENTAJAS DEL SISTEMA

- Alta inversión inicial.
- Alto consumo energético (500 Kw-h).

Filtro electrostático.- Los filtros electrostáticos pueden soportar, durante períodos cortos, aumentos de temperaturas de hasta 500°C y pueden trabajar de forma continua hasta 400°C, razón por la cual últimamente se han venido utilizando cada vez con

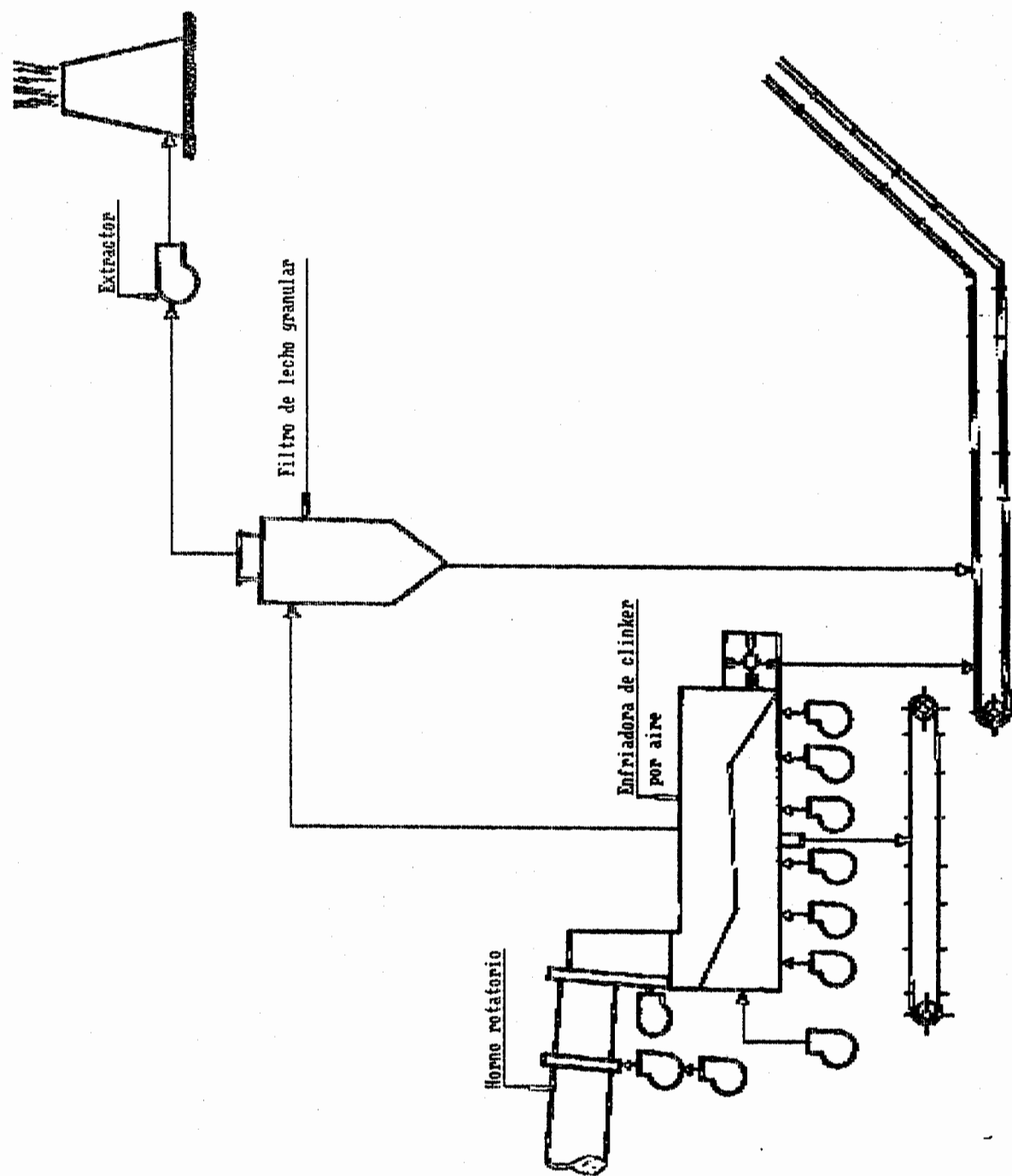


FIGURA 2.5.- DIAGRAMA DE FLUJO DE UN SISTEMA DE COLECCION CON FILTRO DE LECHO DE

mayor frecuencia para el desempolvado de enfriadoras de parrilla. (ver figura 2.6).

Los volúmenes a desempolvarse serán:

a 200°C 252670 m<sup>3</sup>/h; a 420°C 370210 m<sup>3</sup>/h

Con una caída de presión en todo el sistema de cerca de 175 mm H<sub>2</sub>O.

Se requiere por lo tanto un ventilador capaz de manejar 407240 m<sup>3</sup>/h a 420°C con una caída de 210 mm H<sub>2</sub>O, con una potencia aproximada de  $p_m = 320$  HP y un consumo total del sistema de  $W = 300$  Kw-h.

#### VENTAJAS DEL SISTEMA:

- Alta eficiencia.
- Baja caída de presión.
- Bajo costo de operación.
- Bajo costo de mantenimiento.

#### DESVENTAJAS DEL SISTEMA

- Alta inversión inicial.
- Gran requerimiento de espacio.
- Todavía poca experiencia con unidades en operación

#### Estudio económico de las diferentes alternativas

Con el objeto de poder comparar las inversiones necesarias en las diferentes alternativas se solicitó a diferentes empresas constructoras de los equipos cotizaciones referenciales.

Para objeto de la comparación se han utilizado las siguientes cotizaciones:

- Filtro de mangas: Flex Keen (1)



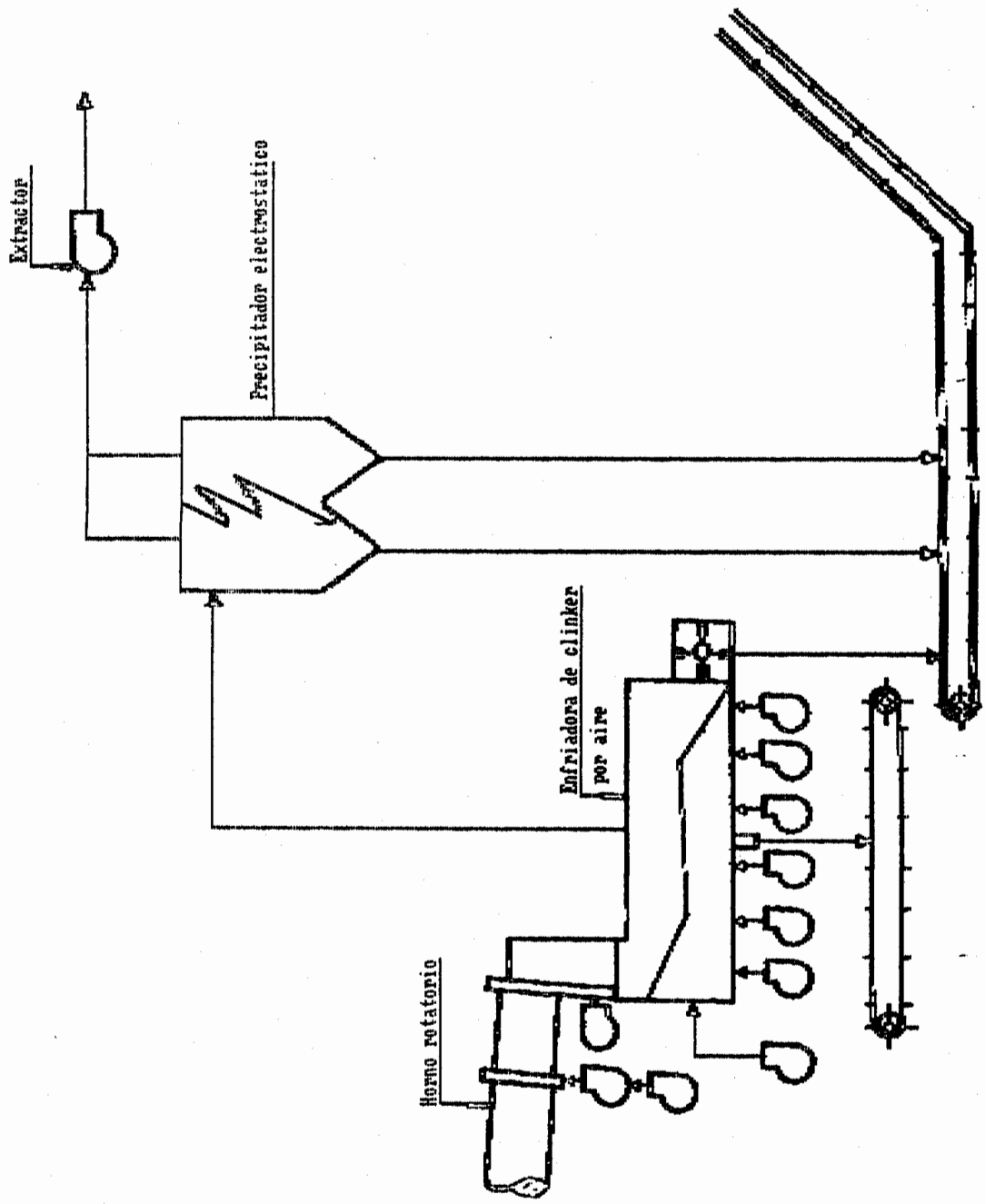


FIGURA 2.6.- DIAGRAMA DE FLUJO DE UN SISTEMA DE COLECCION CON FILTRO DE PRECIPITADOR ELECTROSTATICO.

- Filtro de mangas con intercambiador de calor: Flex Kleen (2)
- Filtro de mangas de acero inoxidable: Flex Kleen y Bekipor (3)
- Circuito cerrado: American Air Filter (4)
- Filtro de lecho de grava: Ruskamp GmbH (5)
- Filtro electrostático: asumido (6)

De acuerdo con estas cotizaciones las inversiones iniciales en las diferentes alternativas serían:

1 U.S. Dólar = 70 sucres

Alter.	Valor FOB $\times 10^3$ U.S.\$	Transp. y seg. $\times 10^3$ U.S.\$	Montaje y obra $\times 10^3$ U.S.\$	Inver. Total $\times 10^3$ U.S.\$	Inver. Total $\times 10^6$ Sucres
1	1000	160	400	1560	109.2
2	956	134	300	1400	98.0
3	1200	120	200	1520	106.4
4	700	80	150	930	65.1
5	1420	200	400	2020	141.4
6	1200	200	300	1700	119.0

Así mismo se han estimado los costos de operación y mantenimiento en las diferentes alternativas, para un año de operación, en valores de miles de sucres.

Alternativa	Costos de Operación	Costo de mante- nimiento	Total
1	9000	16100	25100
2	8000	10100	18100
3	5760	12500	18260
4	5900	6500	12400
5	8000	5000	13000
6	4500	4000	8500

De acuerdo a las cifras mostradas en los dos cuadros

anteriores, parecería que las mejores alternativas desde el punto de vista económico sería la del circuito cerrado y la de un filtro electrostático. Alternativas que son relativamente nuevas en el campo de desempolvado de enfriadoras de parrilla, pero así mismo parecen ser técnicamente aceptables.

#### Resumen

El desempolvado de la enfriadora de parrilla en la planta "Cerro Blanco" de la Cemento Nacional C.E.M. se realiza mediante una batería de multiciclones. La baja eficiencia de este sistema causa alta contaminación en la planta así como gran desgaste en el ventilador.

Para reemplazar los multiciclones se estudiaron seis alternativas:

- 1.- Filtro de mangas
- 2.- Filtro de mangas con intercambiador de calor
- 3.- Filtro de mangas de acero inoxidable
- 4.- Circuito cerrado
- 5.- Filtro de lecho de grava
- 6.- Filtro electrostático

Los resultados de los análisis técnico y económico se aprecian en las tablas 2.1 y 2.2. De los cuales resaltan dos alternativas por ser las más económicas, habiéndose seleccionado la alternativa del filtro electrostático con tensión de impulsos para reemplazar a las baterías de multiciclones

ALTERNATIVA	VENTAJAS	DESVENTAJAS	VOLUMEN DE GASES EN EL VENTILADOR m <sup>3</sup> /h	TEMPERATURA EN EL VENTILADOR oC	CONSUMO ESPECIFICO Kw-h/Kg CLINKER
Filtro de mangas	- Sistema probado y conocido - Costo mediano de adquisicion	- Alto consumo de energia - Alto costo de mantenimiento - Alto requer. de espacio	590000	200	7.2
Filtro de mangas con intercamb. de calor	- Sistema probado muchas plantas - Costo mediano de adquisicion	- Alto consumo de energia - Alto costo de mantenimiento	207800	116	6.0
Filtro de mangas acero inoxidable	- Mediano consumo de energia - Poco espacio - Gran duracion de mangas	- Alto costo inicial - Sistema poco probado	252670	200	4.8
Circuito cerrado	- No hay emision - Sistema simple - Baja inversion - Costos moderados de oper. y mantenimiento	- Poca experiencia - Posible abrasion en ventilador	199260	100	4.9
Filtros de lecho de grava	- Insensibles a altas temp. - Experiencias en muchas unidades	- Alta inversion inicial - Alto consumo de energia	252670	200	6.0
Filtro electros-tatico	- Bajo costo de operacion y mantenimiento	- Mucho espacio - Alta inversion inicial - Poca experiencia en unidades en operacion	252670	200	3.6

TABLA 2.1.- COMPARACION TECNICA DE LAS ALTERNATIVAS

ALTERNATIVA	INVERSION TOTAL	GASTOS OPERACION Y MANTENIMIENTO	TOTAL DE DESEMBOLSOS
Filtro de mangas	1'560000	3'590000	5'150000
Filtro de mangas con intercamb. de calor	1'400000	2'590000	3'990000
Filtro de mangas acero inoxidable	1'520000	2'610000	4'130000
Circuito cerrado	930000	1'770000	2'700000
Filtros de lecho de grava	2'020000	1'860000	3'880000
Filtro electrostatico	1'700000	1'215000	2'915000

TABLA 2.2.- COMPARACION ECONOMICA DE LAS ALTERNATIVAS EN U.S.DOLARES  
1 US \$ = 70 SUCRES

existentes.

## 2.2. PRINCIPIO DE LA PRECIPITACION ELECTROSTATICA

Los filtros electrostáticos instalados en la planta de "Cerro Blanco" utilizan fuerzas eléctricas para captar las partículas de polvo suspendidas en el flujo de gases, cargando las partículas eléctricamente y separándolas por medio de un campo eléctrico.

El tipo de filtro instalado es de flujo horizontal, el mismo que pasa a través de canales formados por placas suspendidas en forma vertical y paralela, las mismas que constituyen los electrodos de colección. Entre los electrodos de colección (placas) están instalados verticalmente los electrodos de emisión (espirales de acero inoxidable). Ver figura 2.7.

El sistema de suministro de alto voltaje compuesto por un transformador y un rectificador aplica un alto potencial negativo a los electrodos de descarga, los mismos que están aislados eléctricamente. El alto potencial negativo aplicado a los electrodos de emisión crea un fuerte campo eléctrico entre los electrodos de emisión y colección que están aterrizados. Ver figura 2.7.

Las mayores magnitudes del campo eléctrico se producen cerca de las curvas pronunciadas de los espirales de los electrodos de emisión. A medida que

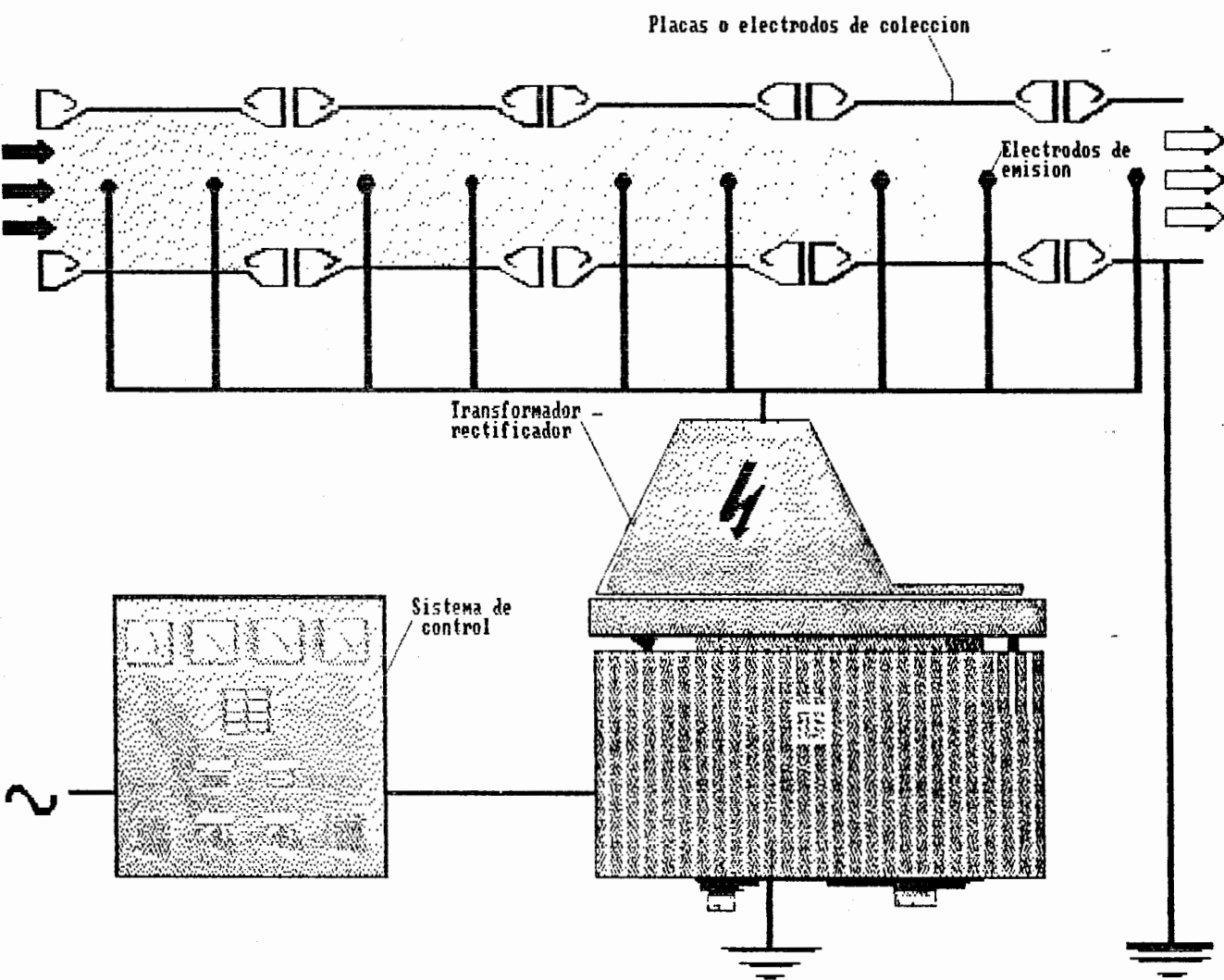


FIGURA 2.7.- DISPOSICION BASICA DE UN PRECIPITADOR ELECTROSTATICO

se incrementa el voltaje se produce la disrupción eléctrica de los gases en la zona cercana a la superficie de los electrodos.

Esta disrupción incompleta se llama "efecto de corona", que aparece con un resplandor azulado que se extiende ligeramente más adelante de la superficie del electrodo de emisión. Ver figura 2.8.

El efecto de corona produce un gran número de iones de gas negativos, los mismos que son atraídos hacia el plato colector formando una nube densa unipolar que cubre casi en su totalidad el espacio entre electrodos. Ver figura 2.9.

Esta nube de iones en movimiento por la influencia del campo eléctrico constituye un flujo de corriente en el precipitador.

Parte de los iones en movimiento se adhieren a las partículas suspendidas en el gas y consecuentemente son cargadas eléctricamente por los iones.

Esta carga eléctrica de las partículas es causada parcialmente por el bombardeo de iones en movimiento por el campo eléctrico y parcialmente por la adherencia de la carga iónica de las partículas por difusión iónica en conformidad a la teoría kinética. Las dos acciones de carga por bombardeo y difusión ocurren simultáneamente, siendo predominante la carga por difusión en las partículas más finas.

Las partículas cargadas bajo el efecto del campo



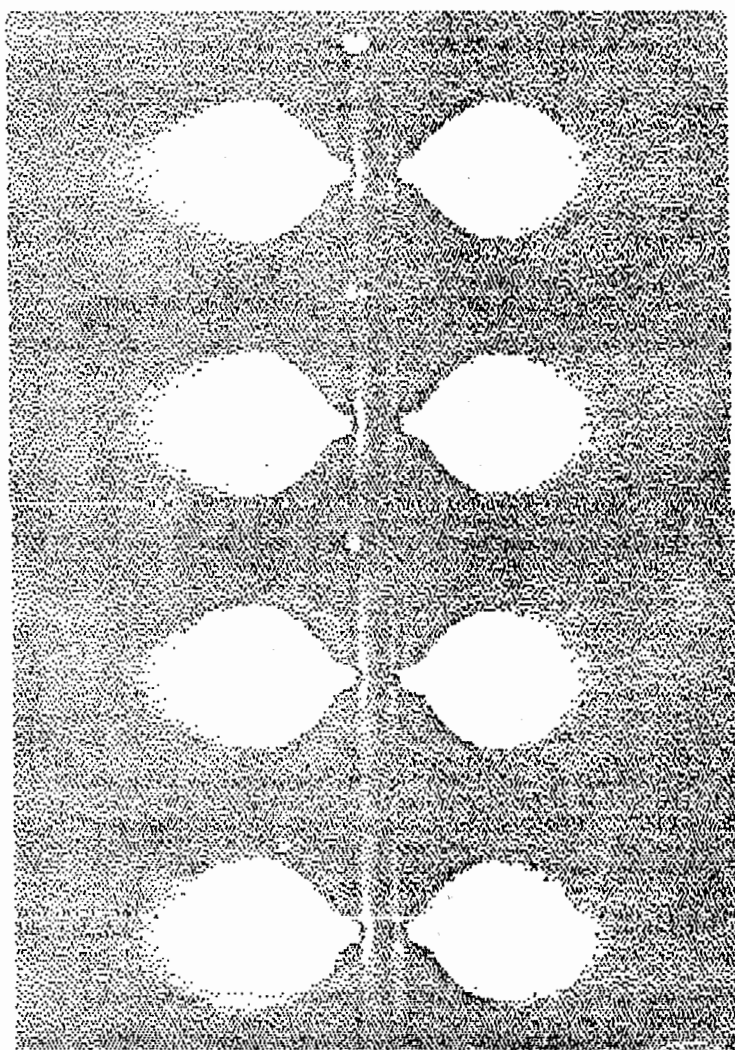


FIGURA 2.8.- ELECTRODOS RIGIDOS DE EMISION, DONDE SE APRECIA EL "EFECTO CORONA".

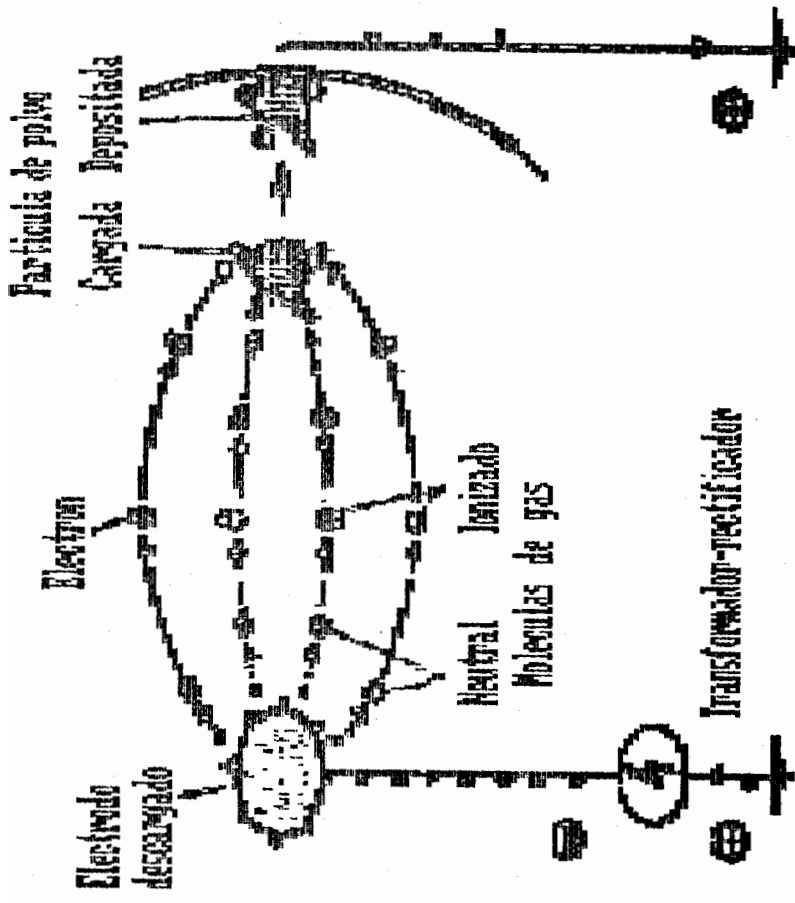


Figura 2.9.- Esquema de las reacciones eléctricas acaecidas entre el electrodo

de emisión, colección y las partículas suspendidas en el gas que fluye en el precipitador electrostático.

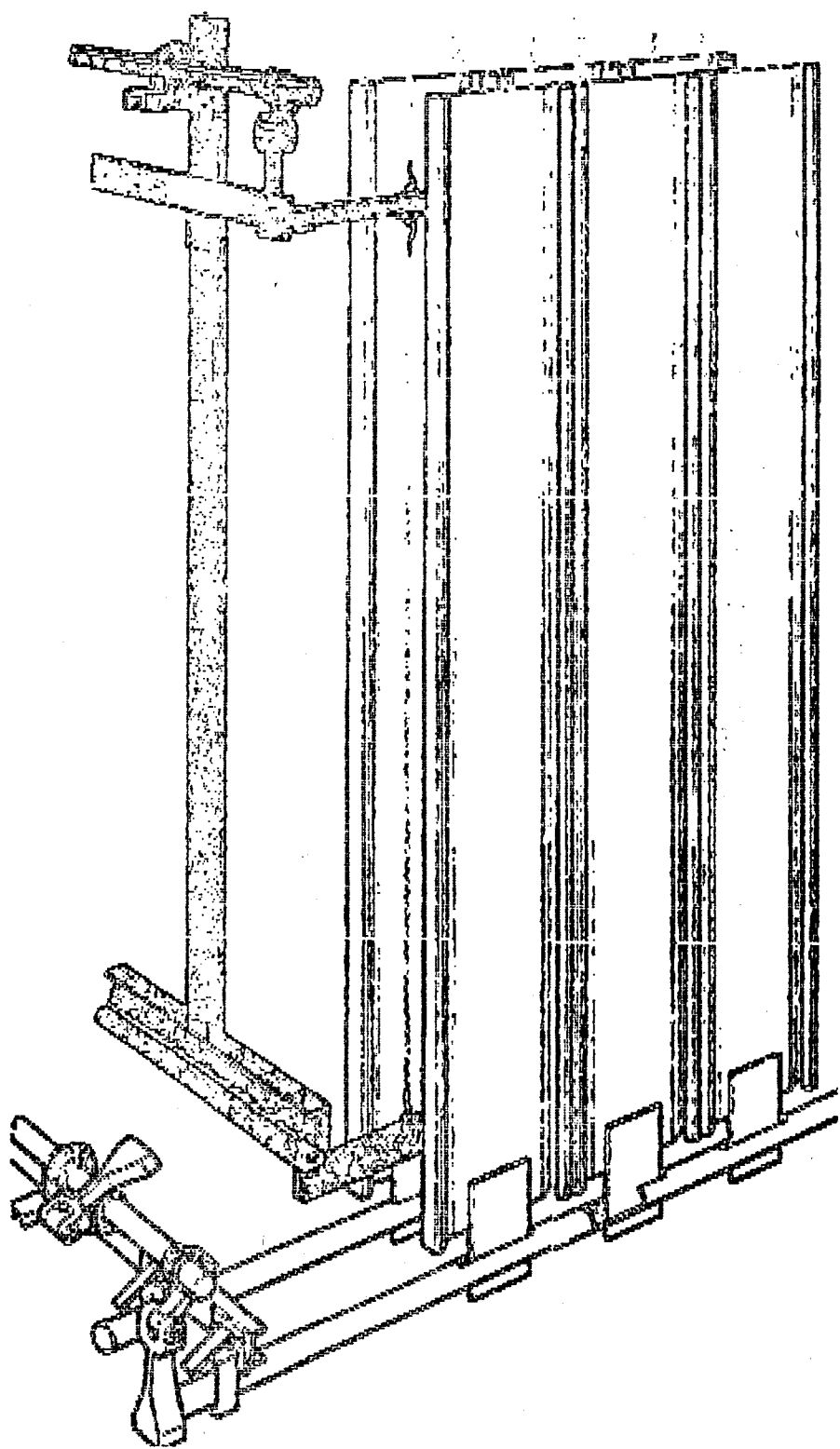


FIG. 2.10.- ESQUEMA DEL SISTEMA DE DESCARGA DEL POLVO DE LOS ELECTRODOS DE EMISION Y COLECCION.

eléctrico emigran hacia los platos colectores que estan aterrizados donde se adhieren y pierden su carga negativa. Las partículas extraidas del flujo de gases forman una capa de polvo en la superficie de los platos colectores. Ver figura 2.10.

La capa de polvo depositada en los platos es desprendida periódicamente por el martilleo periódico de las placas, cayendo posteriormente por gravedad a las tolvas de recolección de donde son trasportadas por una rastra.

## 2.3. DESCRIPCION DEL SISTEMA

### FILTROS

Los filtros electrostáticos instalados para el desempolvo de las enfriadoras de los hornos de Cerro Blanco son del tipo F diseñados para flujo horizontal. (Ver figura 2.11 y 2.12).

El cuerpo de los filtros es de planchas metálicas soldadas en su totalidad a un marco rígido (pendular).

El filtro está diseñado para resistir temperatura, sobrepresión y vacío, al igual que estructuralmente resistentes a sismos. Para compensar la expansión térmica los marcos estructurales estan montados sobre rodillos.

El filtro tiene dos campos eléctricos alimentados independientemente. Cada campo tiene su propio

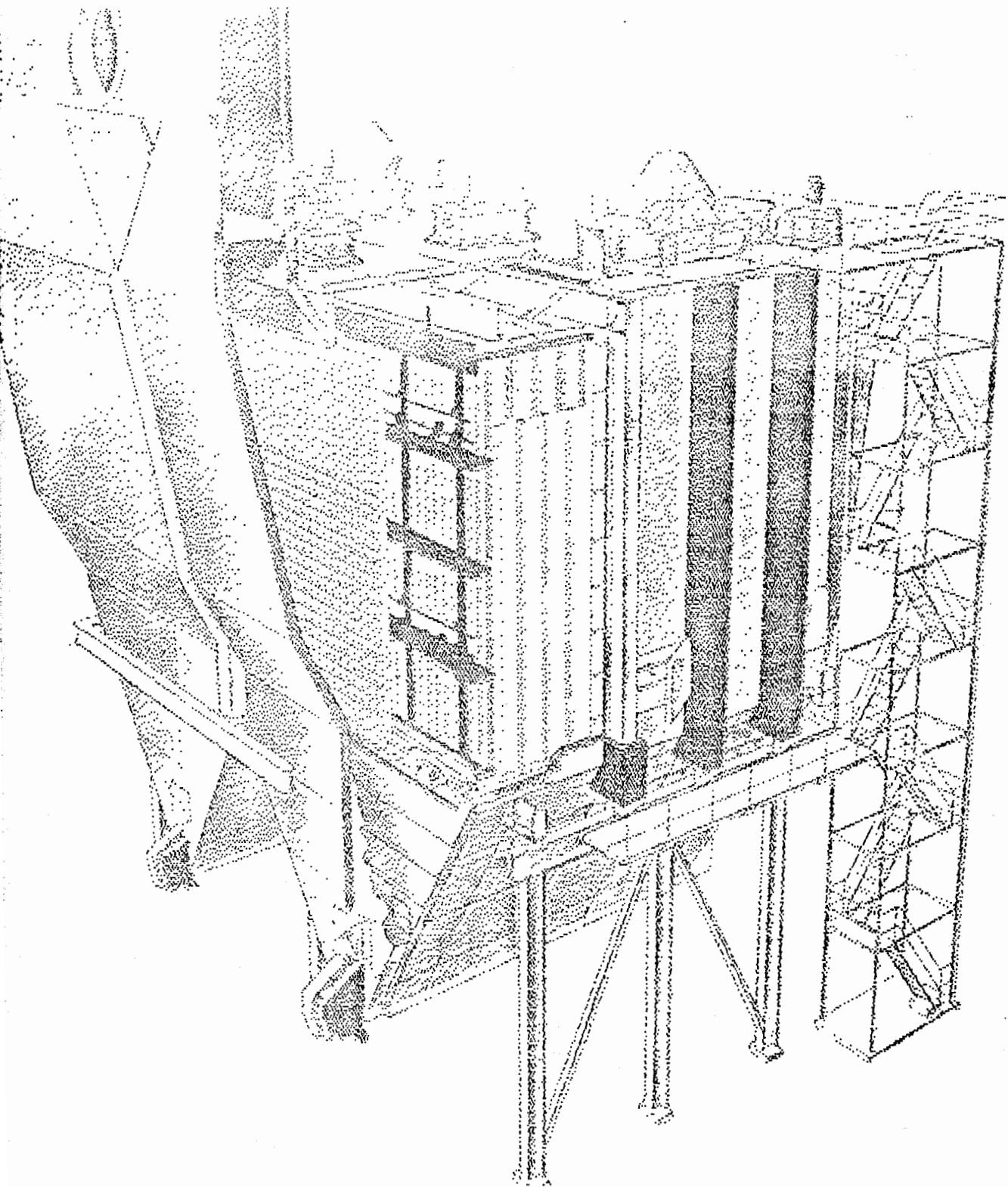


FIG. 2.11.- PRECIPITADOR ELECTROSTATICO TIPO F.

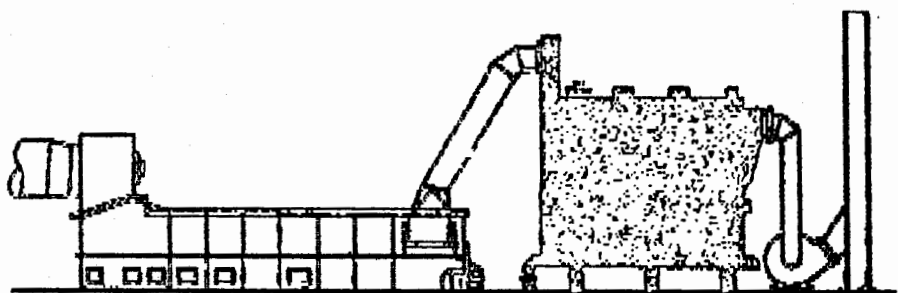


FIGURA 2.12.- ESQUEMA DE LA APLICACION DE UN PRECIPITADOR ELECTROSTATICO TIPO F EN EL DESEMPOLVADO DE UNA ENFRIADORA DE REJILLA PARA CLINKER DE UN HORNO ROTATIVO PARA CEMENTO.

sistema de suministro de alto voltaje y equipo de limpieza independiente. Los campos respectivos están en el sentido del flujo de gases.

El cuerpo del filtro tiene transiciones de entrada y salida equipadas con mallas de distribución de aire para uniformizar el flujo a través del filtro. En la parte inferior existen dos tolvas de recolección longitudinales, cada una con una rastra de transporte y una válvula rotatoria de descarga.

#### SISTEMA DE COLECCION

El sistema de colección consiste de placas largas suspendidas del techo del precipitador montadas en paralelo formando un número de ductos. Cada fila de placas tiene una barra con canales donde entra la parte inferior de cada placa. El polvo acumulado en las placas es desprendido por medio de martillos montados en un eje horizontal y que golpean cada barra. Ver figura 2.10.

#### SISTEMA DE EMISION

El sistema de emisión es un marco consistente de dos viguetas transversales. Entre las viguetas existen marcos de tubos a diferentes niveles y que quedan entre los ductos formados por las placas de colección. En los marcos de tubo se montan verticalmente los electrodos de emisión o descarga. Los electrodos de descarga son helicoidales fabricados de acero inoxidable de 2.7 mm de

diámetro. En los extremos de los electrodos existen ganchos reforzados que se sujetan a hojales soldados en los marcos, formando una unión flexible para prevenir fracturas por fátigas eléctricas.

El sistema de emisión es aislado eléctricamente de las partes restantes del filtro por medio de cuatro aisladores por campo, ubicados sobre el techo y del cual se suspende el marco del sistema de emisión. Estos aisladores están instalados en cajas individuales donde se conecta el suministro de alto voltaje, dichas cajas tienen calentadores para prevenir la condensación.

Al igual que el sistema de colección. El sistema de emisión es limpiado por martillos que golpean en las vigas de impacto sujetas al marco del sistema de emisión. Ver figura 2.10.

**SISTEMA DE BARRAS PERCUSORAS Y MARTILLOS DE LIMPIEZA**  
Los sistemas de limpieza de los sistemas de colección y emisión tienen motoredutores instalados exteriormente del cuerpo del filtro y equipados con dispositivos de sello.

Las unidades motrices para el sistema de emisión con alto voltaje son acoplados con un eje aislante de cerámica.

Los martillos están montados en un eje de manera que cada martillo es girado 30 grados en relación al contiguo, consecuentemente golpean simultáneamente



pocos martillos.

El tipo de operación de los martillos está controlado por un temporizador que acciona el motor periódicamente.

Los ejes están equipados con acoples de expansión y rotan en cojinetes de hierro fundido. Los ejes con los cojinetes están montados en un puente rígido que a su vez sirve de acceso. El puente está fabricado en ángulos estructurales.

#### TOLVAS DE RECOLECCION

El filtro está equipado con dos tolvas longitudinales instaladas bajo los dos campos. En la parte inferior de cada campo existen platos de separación para evitar el flujo de gases debajo de los sistemas de electrodos.

Los platos extremos de las tolvas tienen tapas de inspección al igual que tapas de acceso internas a lo largo de los platos divisorios para permitir el paso a lo largo de las tolvas.

#### RASTRAS DE RECOLECCION

En la parte inferior de cada tolva existe una rastra de recolección tipo D.U.P. El cuerpo de la rastra es parte integral de la tolva. La rastra es de operación continua y equipada con zapatos de asiento, guías interruptores de moción y de corte de flexión. La rastra tiene un sistema motriz de acople directo.

## VALVULAS ROTATORIAS

La descarga de cada rastra tiene una válvula rotatoria de celdas con sistema motriz independiente que cumple la función de sello y dosificador.

## TRANSICIONES DE ENTRADA Y SALIDA

Las transiciones de entrada y salida son del tipo T y B respectivamente, diseñadas para alta concentración de polvo. La parte superior de la transición de entrada tiene un distribuidor horizontal, bajo la cual continua la malla vertical provista de perforaciones donde están instalados horizontalmente platos de distribución los mismos que pueden ser ajustados a cualquier ángulo o eventualmente cerrar el paso de los gases.

Estos platos de guías sirven para obtener una distribución eficiente y uniforme del flujo de gases transversal al filtro.

La transición de salida tiene una malla vertical similar pero sin platos de guía.

## SISTEMA DE CUBICULOS DE CONTROL

Cada filtro tiene dos cubículos de control, uno para cada campo y consisten en dos partes principales: El gabinete de control y el sistema de alto voltaje de corriente continua, donde el primero está constituido por el gabinete, el microprocesador para el sistema integrado de control automático y el sistema de voltaje de corriente alterna para control

y fuerza de los motores de los golpeadores; y el segundo por un tanque, un divisor de voltaje, un transformador de alto voltaje, un rectificador y un sistema de protección de transiciones de voltaje que ocurren durante la descarga (Spark over).

La parte del microprocesador es un sistema digitalizado que cumple la función principal de optimizar el suministro de energía. Esto se lo realiza controlando una frecuencia e intensidad de descarga razonable en conjunto con un tiempo óptimo de reposición de voltaje y corriente posterior a las descargas. Adicionalmente el microprocesador tiene una señalización de alarmas de los elementos principales del filtro.

#### VENTILADOR

El filtro tiene un ventilador centrífugo diseñado para manejar gases a alta temperatura y con materiales abrasivos en suspensión. El tipo del ventilador es de una entrada sin caja de succión, con la turbina montada en un contraeje sobre dos chumaceras esféricas, una de las cuales es enfriada por una turbina (disco) montada en el eje cerca de la cajera del ventilador. Las chumaceras tienen sensores de temperatura para monitoreo y control.

#### SISTEMA MOTRIZ VENTILADOR

El sistema motriz del ventilador está compuesto por un reductor de una sola reducción acoplado directa-

mente al ventilador por el lado de baja. El motor es de velocidad variable con un sistema integral de control de velocidad y adicionalmente con sistema de protección de sobrecarga y temperatura.

#### SISTEMA DE AGUA DE ENFRIAMIENTO

Como una manera de proteger el filtro de altas temperaturas existe el sistema de inyección de agua instalado en la enfriadora cerca de la toma de gases. Cada sistema consiste de dos juegos de inyección equipados con dos boquillas atomizadoras por juego. El sistema está alimentado por gravedad de la cisterna de agua industrial de 70m<sup>3</sup> (precalentador). El juego de inyección tiene un tren de filtros y válvulas solenoides para operar cada uno de ellos dependiendo de la temperatura existente. Adicionalmente existe un suministro de aire comprimido que a través de solenoides inyecta aire a presión a los juegos de inyección cuando no están trabajando, para mantenerlos limpios.

#### SISTEMA DE TRANSPORTE DE FILTROS A TRANSPORTE DE CLINKER.

Cada filtro a través de sus dos tolvas de recolección descarga a una rastra del mismo tipo que las instaladas en las tolvas. La rastra en cuestión está montada al nivel del piso y transversalmente al filtro y, descarga a otra rastra de iguales características que la instalada en el túnel y que transpor

ta el polvo a los transportes Aumund CB1 y CB2.

Las rastras instaladas en el túnel pueden manejar individualmente el polvo recolectado en los dos filtros. La selección de las descargas en las rastras superiores y del túnel es a través de válvulas manuales.

#### SUMINISTRO DE ENERGIA ELECTRICA

El panel principal de la enfriadora recibe energía a 4160 V de un alimentador de la subestación principal. El panel a su vez alimenta al mismo nivel a varios arrancadores. El arrancador existente que abastecía al ventilador 4 (ya eliminado) se utilizó para alimentar un transformador de 750 KVA de donde se suministra 480 V a los equipos principales y auxiliares del filtro. El transformador en cuestión abastece a los centros de control de motores (MCC), al sistema de velocidad variable del motor (Quadra Pack) y a los cubículos del filtro.

## 2.4. ESPECIFICACIONES DEL EQUIPO SELECCIONADO

### ESPECIFICACIONES GENERALES:

Flujo de gases	7360 m <sup>3</sup> /min
Contenido de humedad	0 %
Concentración de polvo de entrada	60 g/N-m <sup>3</sup>
Emisión max. de polvo garantizada	100Mg/N-m <sup>3</sup>
Eficiencia	99.83 %
Velocidad de gases	0.8 m/seg

Tiempo de retención	9.8 seg.
Area total específica de colección	48.9 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> /seg
Velocidad de migración	13.08 cm/seg
Presión atmosférica	760 mm Hg
Temperatura de operación	250 °C
Presión de operación	- 100 mm H <sub>2</sub> O
Temperatura máxima	450 °C
Presión máxima	- 250 mm H <sub>2</sub> O
Max. caída de presión brida a brida	26 mm H <sub>2</sub> O
Carga de viento	150 Kp/m <sup>2</sup>
Carga viva	200 Kp/m <sup>2</sup>
Nivel sísmico	3

#### FILTRO

Modelo	1F400/H41S/2X40-120125/T/B/L2D
Número de cámaras	1
Cuerpo tipo	F (marco)
Espaciamiento entre placas platos de colección tipos	400 mm H
Niveles de electrodos de emisión	4
Electrodos de emisión tipo	S (espiral)
Número de campos	2
Largo efectivo de campo c/u	40 dm (4m)
Ancho efectivo de campo c/u	120 dm (12m)
Altura efectiva de campo c/u	125 dm(12.5m)
Transición entrada tipo	T(brida ent. parte sup.)
Transición salida tipo	B(brida sal. parte inf.)
Tolvas de rec. tipo	L (longitudinal)

Número de tolvas	2
Diseño de descarga tolva	D (rastra)
Número de canales (ductos)	30
Area total proy. de colec.	600 m <sup>2</sup>
Area transversal efectiva	150 m <sup>2</sup>
Sistema de colección	2
Número de placas de colección total	496
Número de placas de colec. por campo	248
Altura de platos de colección	12.5 m
Espesor de platos de colección	1.5 mm
Ancho de platos de colección	500 mm
Número de martillos del sistema de colección por campo	31
Control de operación de martillos	Programable
Motor de sistema martillos colección	0.11Kw
Electrodos de emisión por campo	1920
Electrodos de emisión total	3840
Material electrodos	SS24 (acero inoxidable)
Espesor electrodos	2.7 mm
Niveles de electrodos	4
Esparcimiento de electrodos en sentido de flujo	180/320 mm
Número de martillos de sistema de emisión	30
Motor de martillos de sistema de emisión	0.11 Kw
Espesor de cuerpo	5 mm

Espesor de entrada	5 mm
Malla de distribución entrada	1
Malla de distribución salida	1
Soportes aisladores (alumina) por campo	4
Calentadores de cajas aisladoras	1000 W
Temperatura de caja de aislador	100 °C
Volumen efectivo de recolección tolvas c/u	219 m <sup>3</sup>
Peso específico polvo	0.8 t/m <sup>3</sup>
Capacidad efectiva de recolección tolva c/u	175 ton
Rectificadores DC tipo	Doble onda de silicón
Número de rectificadores DC	2
Max. voltaje rect. DC	80 KV
Vol. operación rect.	30 a 35 KV
Max. amp. de rect. DC	1200 mA
Amp. de oper. rect.	600 mA
Pot. max. instalada	190 KVA
Consumo normal rect. por filtro	60 KW
Pot. max. de motores y calent.	9 KVA
Cons. normal de mot. y calent.	5 KW
VENTILADOR	
Modelo	MT355S
Tipo	Centrífugo
Veloc. de operac. nominal	240 RPM
Velocidad máxima	373 RPM



Temp. normal de oper.	250 °C
Presión	5.1 mbar
Volumen en operación normal	130 Nm <sup>3</sup> /seg
Temp. en cond. críticas	420 °C
Presión	8 mbar
Volumen en operaciones críticas	220 Nm <sup>3</sup> /seg
Acople	directo
Tipo de acople	A440
Eje lado acople	Ø 110 mm
<b>REDUCTOR</b>	
Fabricante	FLENDER
Tipo	SEN
Tamaño	250
Potencia	220 Kw
Relación de reducción	4.389:1
Eje alta	Ø 110 mm
Eje baja	Ø 80 mm
Chavetero alta	40x11.3 mm
<b>MOTOR DEL VENTILADOR</b>	
Fabricante	G.E.
Tipo	Velocidad variable TEFC
Frame	CD506 AT
Potencia	300 HP
Velocidad normal	1750 RPM
Voltaje	500 V
Amperaje	476 AMPS
Aislamiento tipo	F

Voltaje campo	300/150 V
Motores enfriamiento	G.E.
Cantidad	2
Frame	K43
Potencia	1 HP
Velocidad	3450 RPM
Tacometro tipo	BC42
Acople	Directo
Tipo de acople	A 225
Ø eje motor	82.5 mm
Chavetero	19.05 x 5.7 mm

## 2.5. SISTEMA DE CONTROL Y OPERACION

Todos los equipos instalados en el filtro están controlados por sistemas de control de campo computarizados.

### Grupos de control

El sistema de filtros de las enfriadoras está compuesto por los siguientes grupos de control:

- 1.- Sistema de ventilador de salida (antiguamente ventilador 4)
- 2.- Sistema de alta tensión
- 3.- Sistema de agua de inyección
- 4.- Sistema de transportes

El sistema de ventilador de salida comprende exclusivamente el motor y como instrumentación tiene los sensores de temperatura de los cojinetes del

ventilador, la velocidad y corriente del motor y la presión del cabezote del horno.

El sistema de alta tensión comprende todo el equipo del filtro: transformador-rectificador y los motores de golpeadores y como instrumentación la presión en el filtro.

El sistema de inyección comprende todas las solenoides de paso de suministro y como instrumentación la medición de temperatura.

El sistema de transporte comprende las rastras de las tolvas, válvulas rotatorias y rastres de túnel y superior.

#### Arranque y parada

El sistema global de la planta tiene dos opciones de arranque: el arranque de grupo y el arranque de campo.

Para el arranque de los equipos existe un selector principal con tres opciones: marcha, parada y local Free, este selector tiene a la vez comando sobre los grupos de alta tensión, de agua de inyección y del sistema de transportes, los mismos que tienen un selector individual de marcha y parada.

El ventilador de salida (ventilador 4) opera individualmente y está dentro del grupo de ventiladores de la enfriadora.

El arranque de grupo se lo realiza en posición de marcha y presionando el selector en marcha

principal.

El comando de parada del grupo principal para todos los equipos de los tres grupos independientes de la posición de sus respectivos selectores a excepción de los golpeadores del filtro.

Arranques y paradas de grupo parciales son posibles dependiendo de la posición de los selectores de los tres grupos.

La opción del local Free permite la operación de los grupos en el campo, con las botoneras instaladas en puntos cercanos a los motores de los equipos. En el caso del filtro el comando del local Free permite la operación de todo el equipo desde los cubículos de control del cuarto eléctrico o de las botoneras ubicadas cerca de los motores. La alta tensión solamente puede ser activada desde el gabinete del cubículo de control.

#### Operación y control

Los tres grupos operan independientemente con sus respectivas lógicas de control y alarmas. Existen bloques entre ciertos elementos de los grupos respectivos. El sistema tiene dos anillos con control de operación automático que son: el motor del ventilador y el sistema de inyección de agua.

Ventilador: El motor de velocidad variable del ventilador es operado con el controlador de presión del cabezote del horno, a mayor presión mayor.

velocidad y viceversa.

Existe la opción de operar el sistema en manual en caso de que el anillo tenga fluctuaciones severas o en su defecto por fallas en el controlador.

Es indispensable operar a bajas velocidades, por cuanto pueden surgir vibraciones severas en el sistema motriz del ventilador. La corriente y velocidad del motor tienen indicación en el cuarto de control. Al igual que los cubículos respectivamente en el cuarto eléctrico. Como protección del ventilador existe el monitoreo continuo de temperatura de las chumaceras del ventilador.

#### Sistema de Inyección de agua

La inyección de agua a la enfriadora tiene la función principal de proteger el filtro y ventilador de una temperatura excesiva. El sistema está operado por la termocupla instalada en la sala de los gases de la enfriadora y que funciona en forma ascendente de la siguiente manera:

- Temperatura de gases 300°C, entra la primera etapa con 6 m<sup>3</sup>/hr
- Temperatura de gases 375°C, para la primera etapa y entra la segunda etapa con 14 m<sup>3</sup>/hr
- Temperatura de gases 425°C, entra la primera etapa y mantiene la segunda etapa con 20 m<sup>3</sup>/hr.
- Temperatura de gases 450°C, alarma.

En forma descendente:

- Temperatura de gases 425°C, las dos etapas en funcionamiento
- Temperatura de gases 325°C, corta la primera etapa con 14 m<sup>3</sup>/hr
- Temperatura de gases 275°C, corta la segunda etapa con 20 m<sup>3</sup>/hr.

Como situación especial en caso de que ocurra una disminución de temperatura luego de haber pasado los 300°C y no llegar a la segunda temperatura de operación de 325°C, las toberas de inyección de la primera etapa no cierran hasta llegar a 275°C.

Sistema de indicación, alarmas y corte

Filtro: El filtro tiene un cubículo de control ubicado en el cuarto eléctrico que tiene indicación continua de voltaje, corriente y descargas que ocurren durante operación. Adicionalmente tiene alarmas de los circuitos internos de control. Como protección del filtro existe un anillo interno en el gabinete que corta el suministro de energía a los campos en caso de la rotura de algún electrodo y evitar el corto circuito.

El filtro tiene capacidad para manejar la carga de polvo en los gases con un solo campo por lo tanto si un campo sale de operación, el filtro puede continuar la operación normal.

En el cuarto de control central tiene indicación

remota exclusivamente de operación de alta tensión. Los motores de los golpeadores tienen adicionalmente alarmas de operación.

En los ductos de salida del filtro existe un sensor de presión con indicación continua en el cuarto de control. La indicación de presión tiene las siguientes respuestas:

Presión de 10 mbar                      Alarma

Presión de 20 mbar                      Desconecta el ventilador

La paralización del ventilador #1 desconecta el suministro de alta tensión del filtro.

Ventilador: Las chumaceras del ventilador tienen sensores de temperatura para protección de las mismas. La señal va al cuarto de control donde se puede realizar el monitoreo continuo y tienen las siguientes respuestas para las dos chumaceras:

Temperatura: 100°C                      Alarma

Temperatura: 120°C                      Desconecta el ventilador

Motor del ventilador: El motor de velocidad variable del ventilador tiene indicación remota en el cuarto de control de corriente y velocidad. En el cuarto eléctrico el cubículo respectivo tiene las indicaciones de corriente, voltaje y la velocidad.

Sistema de agua de inyección: El sistema de operación de agua de inyección descrito anteriormente tiene dentro del mismo anillo las siguientes respuestas para protección del filtro:

Temperatura:450°C            Alarma

Temperatura:465°C.Para el motor principal del horno.

Luego de 15 minutos de retención.

Sistema de transporte y motores en general: Las rastras del filtro y de transporte y las válvulas rotatorias tiene el sistema de control en Modicon con indicación de parada en el cuarto de control. La señal de todos los elementos de campo tales como interruptores de moción y flexión en el caso de las rastras y de todos los motores en general son procesados por el equipo de Modicon para el control y a su vez con comunicación al equipo Foxboro de alarmas. Todos los equipos tienen indicaciones de falla.



## CAPITULO III

### MONTAJE DEL PRECIPITADOR ELECTROSTATICO

#### 3.1. RECEPCION DEL EQUIPO

Una vez seleccionado y adquirido el equipo a instalar, se procedió a prepararse para recibir los componentes del mismo, para lo cual se decidió arreglar la zona aledaña a la ubicación final del equipo, de tal forma que permitiera el flujo vehicular, tanto normal de operación de la planta como para el montaje (grúas, montacarga, etc.).

De acuerdo al tipo de elemento y a la protección que requiere tanto del medio ambiente, como por seguridad (valor económico), se prepararon 4 zonas de almacenaje (ver figura 3.1) que fueron:

- A. Una zona a la intemperie, aledaña a la ubicación del equipo.
- B. Dos container de 12 mts cada uno (enviados con el equipo), ubicados cerca de la zona de montaje.
- C. Un galpón de 12 x 30 mts de área cubierta (reinstalado en el sitio del montaje).
- D. El almacén de la fábrica propiamente dicho.

En estas zonas se almacenó los siguientes elementos:

En la zona A; todos los elementos estructurales como: columnas, vigas, planchaje, rodillos de soporte y placas colectoras (embaladas en paquetes especiales).

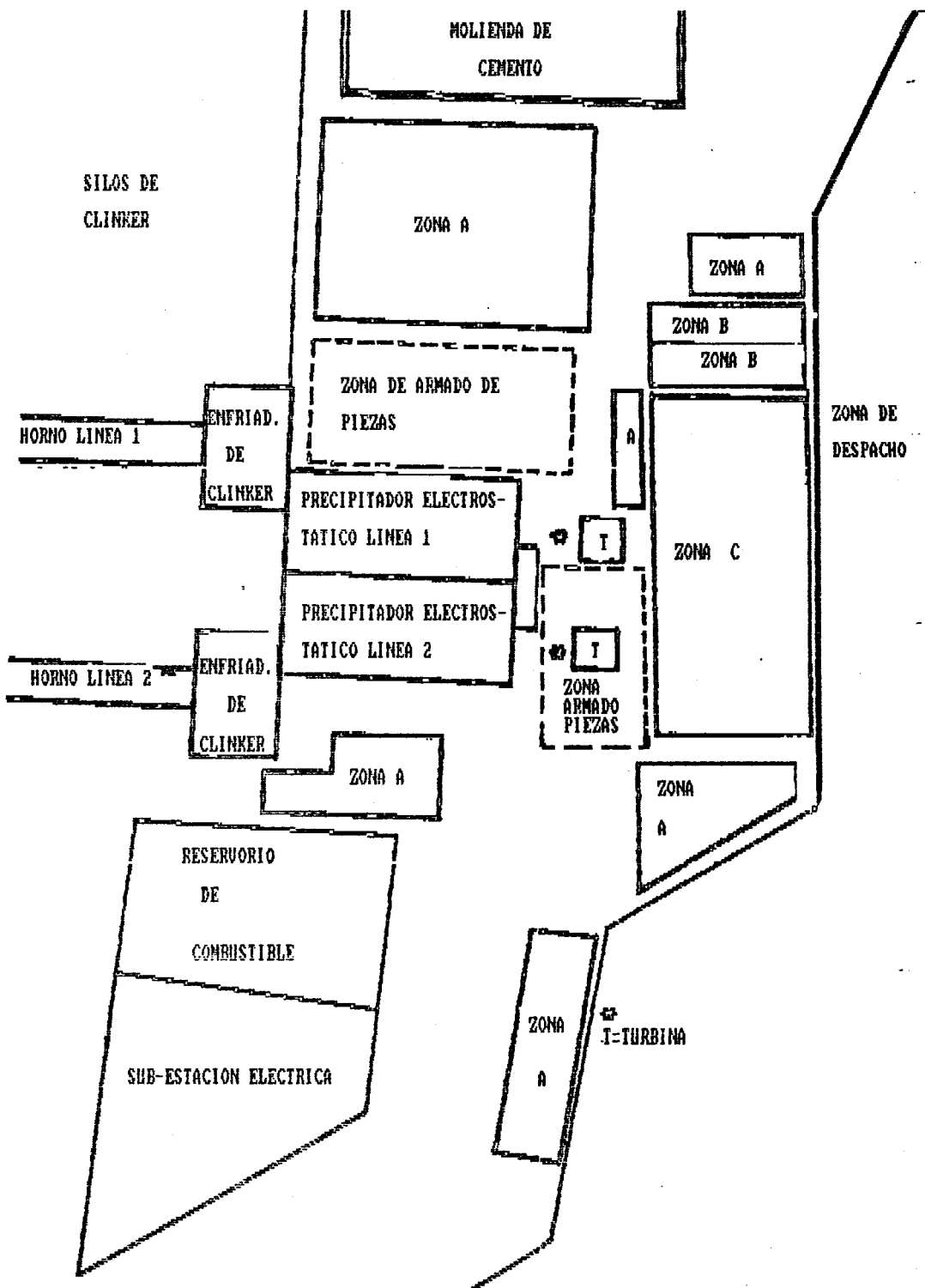


FIGURA 3.1.- ESQUEMA DE PLANTA DE LAS ZONAS DE ALMACENAJE Y ARMADO

En la zona B; los elementos estructurales de los sistemas de emisión y colección, así como los elementos del sistema de limpieza de los equipos de emisión y colección, los electrodos de emisión, aisladores eléctricos, pernos, remaches motoredutores de los sistemas de limpieza, sistemas de control de la condensación y otros.

En la zona C; los elementos aisladores térmicos (lana de roca), recubrimiento de aluminio, sistemas mótricas de las rastras de descarga, reductores, válvulas rotatorias, sistema de inyección de agua, rastras de descarga, transformadores-rectificadores, paneles de control eléctrico y elementos varios.

En la zona D; los motores de velocidad variable para los extractores, los extractores (tanto la carcasa, como la turbina y contra eje), las rastras de transportación del material recuperado hacia el transportador Aumund, etc. Esta zona se prepara debido principalmente a la falta de espacio y seguridad no existente en las otras zonas de almacenaje.

Los componentes del equipo arribaron al puerto de Guayaquil en dos embarques con 20 días de separación entre los mismos, utilizandose una flota de 6 camiones de cama alta con una longitud de 12 mts para trasladar el embarque desde el puerto hasta las instalaciones cementeras.

En el transporte terrestre se exigió que tanto la operación de carga como de descarga, se la realizará con sumo cuidado para reducir de esta forma el deterioro físico de los componentes (especialmente los de difícil reposición).

La operación de recepción del equipo se realiza en un tiempo de 45 días (Noviembre/Diciembre de 1986), la misma que incluyó la preparación de las zonas de recepción propiamente dicha y clasificación.

### 3.2. PROCEDIMIENTO DEL MONTAJE

En la figura 3.2, se puede apreciar una maqueta del proyecto de la instalación de dos precipitadores electrostáticos para las líneas de producción 1 y 2 de la planta "Cerro Blanco" de la Cemento Nacional.

El montaje de los Precipitadores Electrostáticos seleccionados estuvo compuesto por tres operaciones que son; la civil, la mecánica y la eléctrica.

La operación civil.- Fue la encargada de construir los siguientes elementos.

- a. Túnel para rastras transportadoras de clinker recuperado, cuya función es la de albergar las rastras transportadoras de clinker, comunicando de esta forma a los precipitadores electrostáticos con el transportador de baldes "Aumund". El transportador de baldes "Aumund" se encuentra bajo el nivel de tierra dado que las

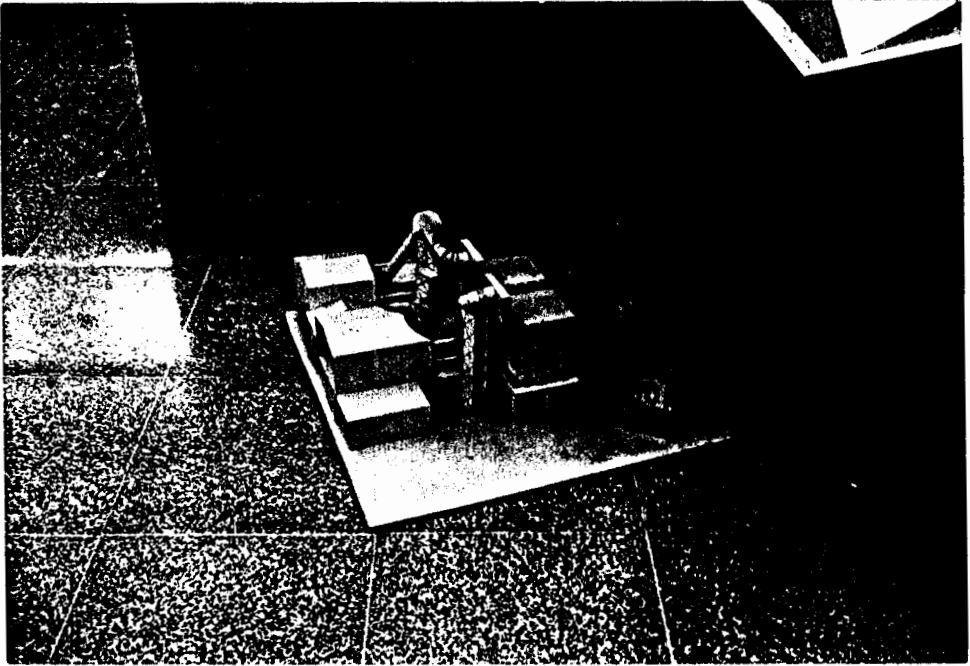


FIG. 3.2.- MAQUETA DEL PROYECTO DE LA INSTALACION DE DOS PRECIPITADORES ELECTROSTATICOS PARA ENFRIADORA DE CLINKER POR AIRE EN LA PLANTA "CERRO BLANCO".

descargas de las enfriadoras de clinker 1 y 2 son la parte inferior, como se aprecia en la figura 3.3.

- b. Edificio base, la constitución física de un precipitador electrostático requiere de la construcción de un edificio base (metálico o de hormigón armado) como se puede apreciar en la figura 2.11 y en la figura 3.4.

Es de acotar que el edificio base construido fue común para los precipitadores electrostáticos y de hormigón armado por razones económicas y de espacio.

- c. Cuarto para los sistemas de control eléctrico, la operación de los precipitadores electrostáticos requiere de un sistema de control eléctrico, para lo cual se contruyó un cubículo destinado a los mismos, ubicado bajo el edificio base.

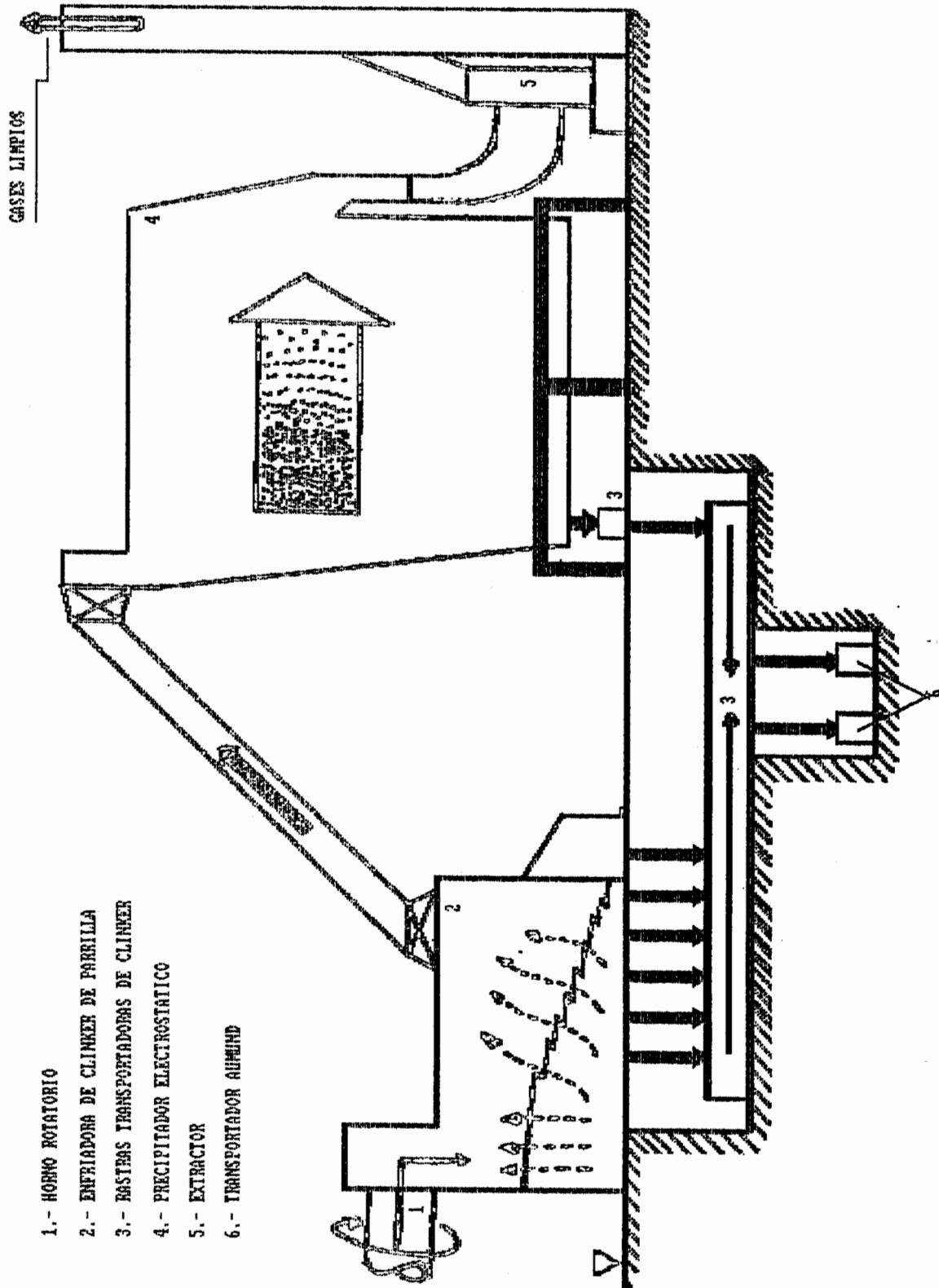
- d) Bases para los extractores, un equipo auxiliar de los precipitadores electrostáticos son los extractores (uno por precipitador), los mismos que requieren de bases propias para los tres elementos que los componen que son:

Turbina-carcaza

Contraeje

Motor-reductor

La operación civil se desarrolló desde Abril/86 hasta Julio/87, de la forma presentada en la tabla



- 1.- HORNO ROTATORIO
- 2.- ENFRIADORA DE CLINKER DE PARRILLA
- 3.- BASTAS TRANSPORTADORAS DE CLINKER
- 4.- PRECIPITADOR ELECTROSTATICO
- 5.- EXTRACTOR
- 6.- TRANSPORTADOR AUMENT

FIGURA 3.3.- CORTE LONGITUDINAL DEL SISTEMA ENFRIADORA DE CLINKER-PRECIPITADOR ELECTROSTATICO.



FIG. 3.4.- VISTA DEL EDIFICIO BASE DE HORMIGUN ARMADO CON  
LOS ASIENTOS DE APOYO PARA LOS PRECIPITADORES  
ELECTROSTATICOS.



3.1, en la que se puede observar que las bases de los extractores se construyeron durante Mayo-Julio/87, por razones de espacio, dado que el mismo se empleó para armar los pórticos y tolvas de salida de los gases, movilización de las grúas para las operaciones de montaje de los mismos en el edificio base y otras operaciones.

En la tabla 3.1 se presenta el cronograma de montaje civil de los precipitadores electrostáticos para clinker

La operación mecánica.- Fue la encargada del armado y el montaje del precipitador electrostático propiamente dicho y de sus equipos auxiliares. Presentando se en la tabla 3.2 el cronograma del montaje mecánico de los precipitadores electrostáticos para una enfriadora de clinker por aire, siendo desglosado a continuación:

a. Ductería, fue la construcción y montaje de los ductos que transportarían los gases desde las enfriadoras hasta los precipitadores electrostáticos y desde estos hasta los extractores, como desde los extractores hasta las chimeneas, estos se los puede observar en las figuras 3.5 y 3.6.

La ductería incluía; los ductos, cambios de sección, cambios de diámetro, cambio de dirección, juntas de expansión, etc.

CONCEPTO	FECHA ABRIL MAYO/86	JUNIO JUL/86	AGOSTO SEPT/86	OCTUBRE NOV/86	DIC/86 ENER/87	FEBRERO MARZ/87	ABRIL MAYO/87	JUNIO JUL/87	AGOSTO SEPT/87	OCTUBRE NOV/87
TUNEL PARA RASTRAS TRANSPORTADORAS:										
EXPLOR. GEOLOGICA	█									
EXCAVACION		█								
FUND. DEL HORMIGON:			█							
EDIFICIO BASE:										
EXPLOR. GEOLOGICA	█									
EXCAVACION		█								
ARMADO DE VARILLAS:			█	█						
ENCOFRADO				█	█					
FUNDICION				█	█					
CUARTO SISTEMA DE CONTROL:										
FUNDICION COLUMNAS:			█	█						
CONSTRUCCION PARED:				█	█					
ENCOF. Y CONTRAPIS:					█					
BASES PARA LOS EXTRACTORES:										
EXCAVACION							█			
ARMADO VAR. Y ENC.								█		
FUNDICION									█	

TABLA 3.1.- CRONOGRAMA DEL MONTAJE CIVIL DE LOS PRECIPITADORES ELECTROSTATICOS PARA CLINKER

FASE	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	PESO DE CADA	OBSERVACIONES			
	1986											1987					FASE (Kg)						
a DUCTERIA	█																						
b TORRES PARA DUCTERIA																					38670	(1)	
c CHIMENEAS																					30550	(2)	
d SIST. INYECCION AGUA																					9800	(3)	
e PREC. ELECTROSTATICO																					2800	(4)	
1. ASIENTOS																							
2. PORTICOS																					3800	(5)	
3. PLANCHAJE LATERAL																					95400	(6)	
4. TOLVAS RECOLECC.																					58250	(7)	
5. SIST. COLECCION																					54800	(8)	
6. SIST. EMISION																					130100	(9)	
7. TRANSICIONES SAL-ENT																					28500	(10)	
8. MALLAS DIST. SAL-ENT																					101600	(11)	
9. RASTRAS RECOLECTORAS																					7800	(12)	
10. PLANCHAJE DEL TECHO																					22600	(13)	
11. MONTAJE TRANSFORMAD.																					4000	(14)	
12. MISCELANEAS																					15000	(15)	
13. AISLAMIENTO TERMICO																					6800	(16)	
14. RECUBRIM. EXTERIOR																					12000	(17)	
15. LIMPIEZA																					20000	(18)	
f RASTRAS TRANSPORTADORAS																					67800	(19)	
g MONT. SIST. EXTRAC. GASES																					33000	(20)	
h CONECCION CON LAS LINEAS																							
1. VERIFICACION																							
2. INST. SISTEMA DE AGUA																							
3. REMOCION MULTICICLON																							
i DESALOJO MATER. SOBRANTE																							
PESO MONTADO EN CADA MES DE OPERACION MECANICA (Kgx102)	5.5	6.5	8.0	8.5	8.87	1.3		143.8	162.4	160.8	163.35	180.1	185.4		184.1	173.9	139.3	16.3					

TABLA 3.2.- CRONOGRAMA DEL MONTAJE MECANICO DE LOS PRECIPITADORES ELECTROSTATICOS PARA LA ENFRIADORA DE CLINKER POR AIRE.

## OBSERVACIONES

- (1).- EQUIPO UTILIZADO: Cizalla, roladora, oxicorte, soldadoras, prensa hidráulica, teclé, tirfor, grúa, camión plataforma, 3 grupos de trabajo (1 soldador-armador, 3 ayudantes), taladro magnético y de banco, taladros y esmeriles de mano, herramientas manuales. Costo: 134 sucres/Kg.
- (2).- EQUIPO UTILIZADO: Cizalla, oxicorte, soldadoras, teclé, tirfor, grúa, 2 grupos de trabajo (1 soldador-armador, 4 ayudantes), taladro magnético y de banco, taladros y esmeriles de mano, herramientas manuales. Costo: 134 sucres/Kg.
- (3).- EQUIPO UTILIZADO: Cizalla, roladora, oxicorte, soldadoras, prensa hidráulica, teclé, tirfor, grúa, 2 grupos de trabajo (1 soldador-armador, 4 ayudantes), taladro magnético y de banco, taladros y esmeriles de mano, torno, herramientas manuales. Costo: 134 sucres/Kg.
- (4).- EQUIPO UTILIZADO: Soldadoras, 1 grupo de trabajo (2 soldadores-mecánicos, 3 ayudantes), taladro magnético, taladros y esmeriles de mano, herramientas manuales. Costo: 30 sucres/Kg.
- (5).- EQUIPO UTILIZADO: Oxicorte, soldadora, esmeril de mano, herramientas manuales, teodolito, nivel de precisión, 2 grupos de trabajo (1 soldador-mecánico, 2 ayudantes). Costo: 30 sucres/Kg.
- (6).- EQUIPO UTILIZADO: Soldadora, grúa, teclé, tirfor, teodolito, nivel de precisión, equipo de ensayo no destructivo, 1 grupo de trabajo (3 soldadores-armadores). Costo: 20 sucres/Kg.
- (7).- EQUIPO UTILIZADO: Oxicorte, soldadora, grúa, esmeril de mano, herramientas manuales, 3 grupos de trabajo (2 soldadores-armadores, 2 ayudantes, 1 armador). Costo: 30 sucres/Kg.
- (8).- EQUIPO UTILIZADO: Oxicorte, soldadora, esmeril de mano, herramientas manuales, teodolito, grúa, 2 grupos de trabajo (2 soldadores-armadores, 2 ayudantes, 1 armador). Costo: 30 sucres/Kg.
- (9).- EQUIPO UTILIZADO: Oxicorte, soldadora, esmeril de mano, herramientas manuales, nivel de precisión, grúa, torre grúa, teclé, tirfor, 2 grupos de trabajo (2 soldadores-mecánicos, 5 ayudantes), patecas. Costo: 27 sucres/Kg.
- (10).- EQUIPO UTILIZADO: Oxicorte, soldadora, esmeril de mano, herramientas manuales, nivel de precisión, grúa, torre grúa, teclé, tirfor, 2 grupos de trabajo (2

soldadores-mecánicos, 5 ayudantes), patecas. Costo: 60 sucres/Kg.

(11).- EQUIPO UTILIZADO: Oxicorte, soldadora, esmeril de mano, herramientas manuales, nivel de precisión, grúa, torre grúa, tecla, tirfor, 3 grupos de trabajo (2 soldadores-armadores, 2 ayudantes, 1 armador). Costo: 25 sucres/Kg.

(12).- EQUIPO UTILIZADO: Oxicorte, soldadora, esmeril de mano, herramientas manuales, torre grúa, patecas, 2 grupos de trabajo (1 soldador-mecánico, 2 ayudantes). Costo: 30 sucres/Kg.

(13).- EQUIPO UTILIZADO: Oxicorte, soldadora, esmeril de mano, herramientas manuales, tecla, 1 grupo de trabajo (1 soldador-mecánico, 2 ayudantes). Costo: 30 sucres/Kg.

(14).- EQUIPO UTILIZADO: Oxicorte, soldadora, esmeril de mano, herramientas manuales, tecla, grúa, 2 grupos de trabajo (1 soldador-armador, 2 ayudantes). Costo: 30 sucres/Kg.

(15).- EQUIPO UTILIZADO: Oxicorte, soldadora, esmeril de mano, herramientas manuales, grúa, 1 grupo de trabajo (1 soldador-armador, 2 ayudantes). Costo: 30 sucres/Kg.

(16).- EQUIPO UTILIZADO: Oxicorte, soldadora, esmeril de mano, herramientas manuales, tecla, taladro, grúa, tirfor. Costo: 50 sucres/Kg.

(17).- EQUIPO UTILIZADO: Oxicorte, soldadora, grúa, herramientas manuales, andamios, 2 grupos de trabajo (5 personas), 1 grupo de trabajo (1 soldador-armador, 2 ayudantes). Costo: 65 sucres/Kg.

(18).- EQUIPO UTILIZADO: Grúa, taladro y remachadora manual, herramientas manuales, andamios, 2 grupos de trabajo (5 personas). Costo: 65 sucres/Kg.

(19).- EQUIPO UTILIZADO: Grúa, montacarga, oxicorte, soldadora, taladro, esmeril, herramientas manuales, 1 grupo de trabajo (1 soldador-mecánico, 2 ayudantes). Costo: 27 sucres/Kg.

(20).- EQUIPO UTILIZADO: Grúa, montacarga, oxicorte, soldadora, taladro magnético, esmeril, herramientas manuales, 1 grupo de trabajo (1 soldador-mecánico, 3 ayudantes). Costo: 25 sucres/Kg.

(21).- EQUIPO UTILIZADO: Grúa, oxicorte, soldadora, herramientas manuales, 4 grupos de trabajo (1 soldador, 2 ayudantes).

- b. Torres de ductería; fue la construcción y montaje de dos torres para soportar los ductos que comunican a las enfriadoras con los precipitadores electrostáticos como se los puede apreciar en las figuras 3.5 y 3.6.
- c. Chimeneas; debido al estado de las chimeneas originales se decidió la construcción de las mismas, las que se pueden apreciar en la figura 3.7.
- d. Sistema de inyección de agua; fue la instalación del mismo en las enfriadoras cerca de las tomas de aire.
- e. Los precipitadores electrostáticos; los que se seleccionaron son como el que se aprecia en la figura 2.11, y cuya secuencia de montaje se la describirá a continuación, es de anotar que los dos equipos se armaron al mismo tiempo.

- 1. En primer lugar se instalaron y alinearon los asientos sobre los que irían colocados los precipitadores.

Es de observar que cada precipitador posee 8 asientos (1 fijo, 7 móviles) como los que se aprecian en las figuras 3.8, 3.9, 3.10, 3.11 y 3.12.

La nivelación y alineación de los asientos es sumamente importante dado que la finalidad de estos asientos es que los precipitadores sean



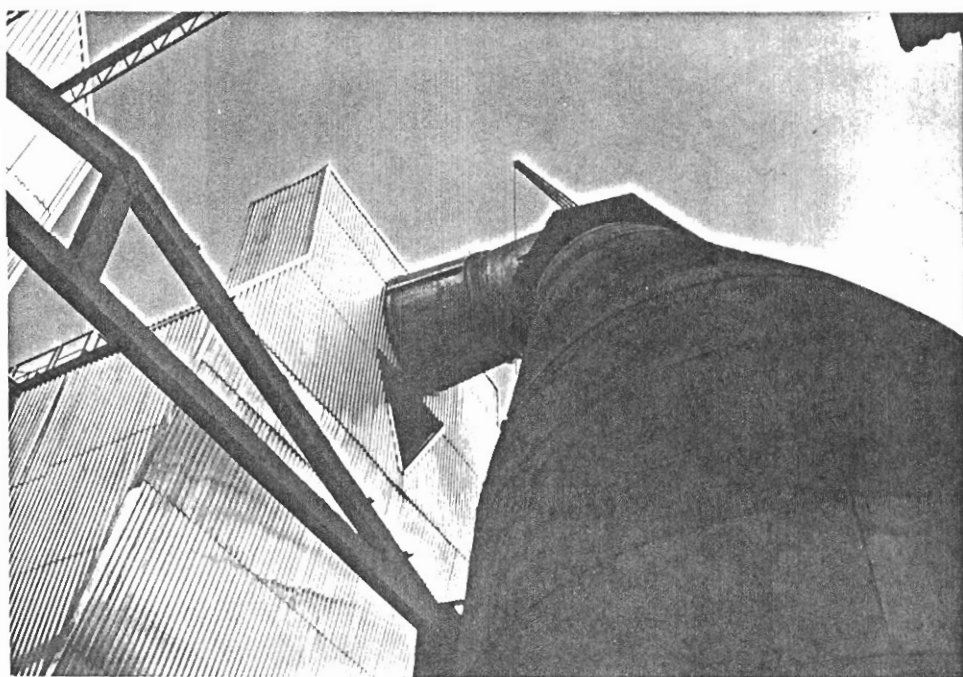
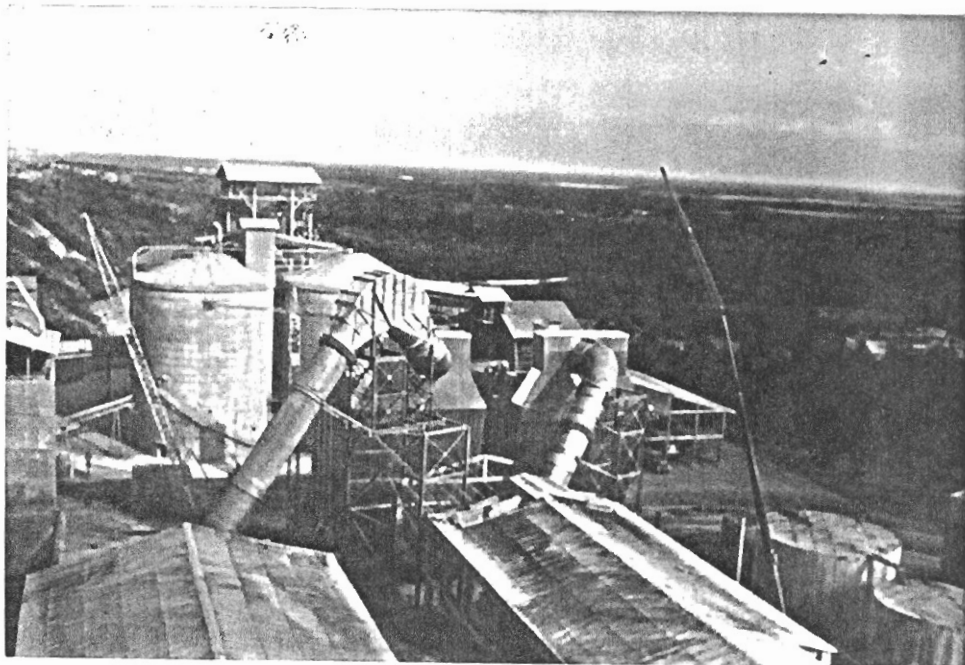


FIG. 3.5.- VISTAS DE LA DUCTERIA Y LAS TORRES DE LOS PRE-  
PRECIPITADORES ELECTROSTATICOS.

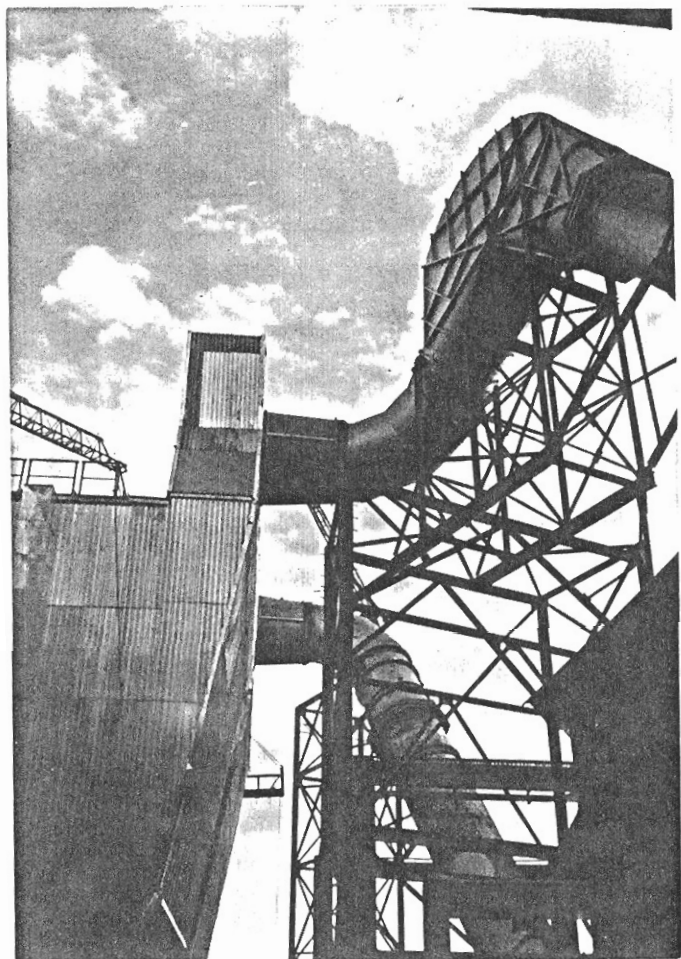


FIG. 3.6.- VISTA DE LA DUCTERIA Y LAS TORRES DE LOS PRE-  
PRECIPITADORES ELECTROSTATICOS.



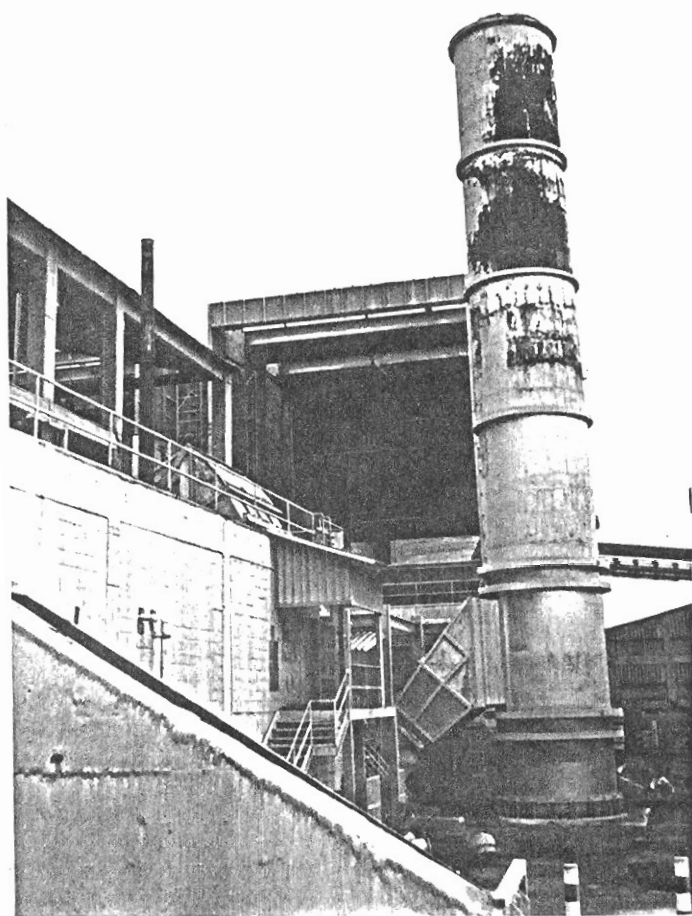


FIG. 3.7.- VISTA DE LA CHIMENEA ORIGINAL DE LA LINEA 2 DE LA PLANTA "CERRO BLANCO".

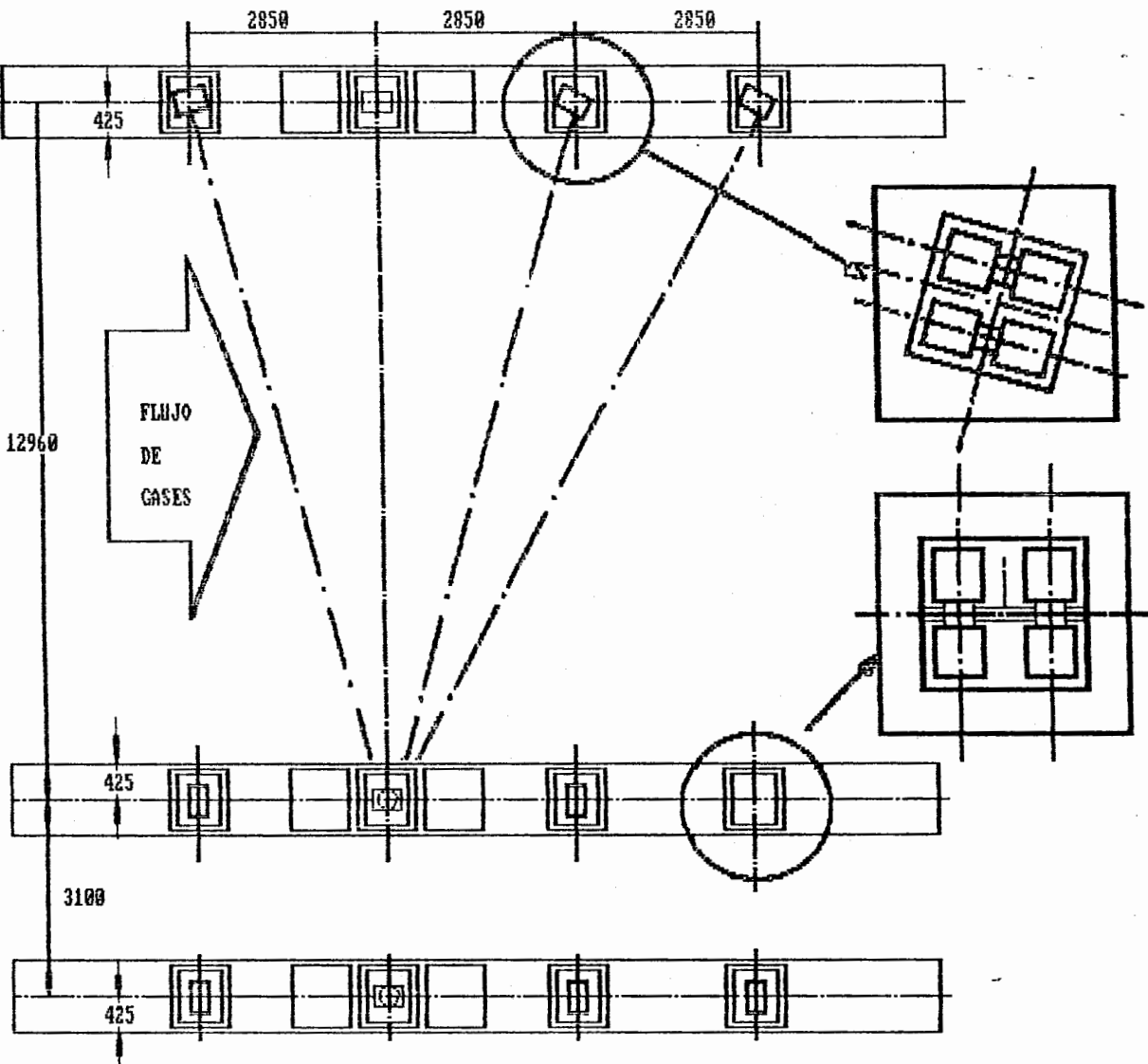
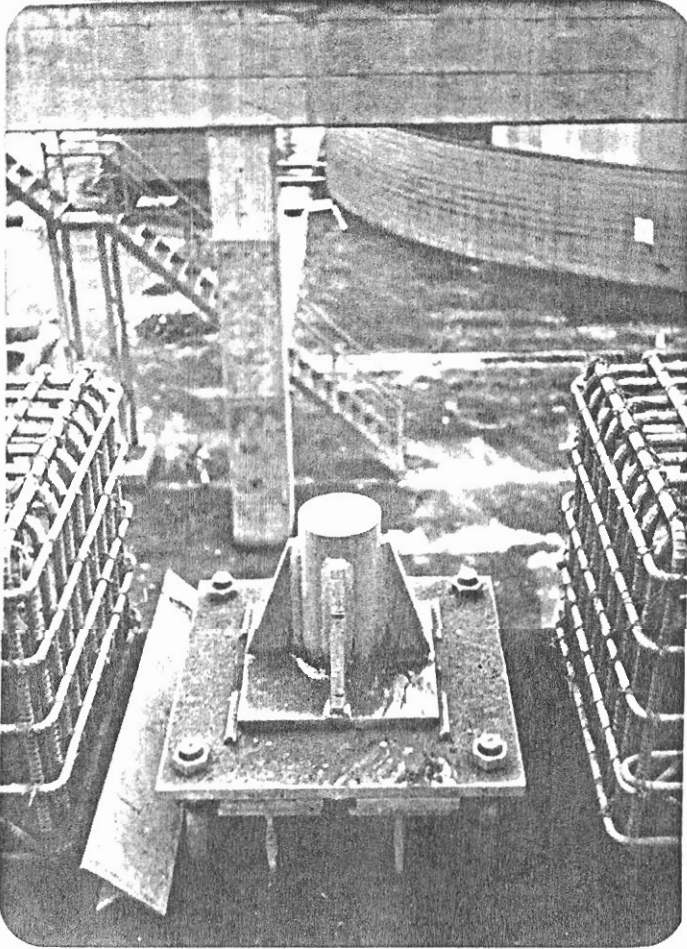
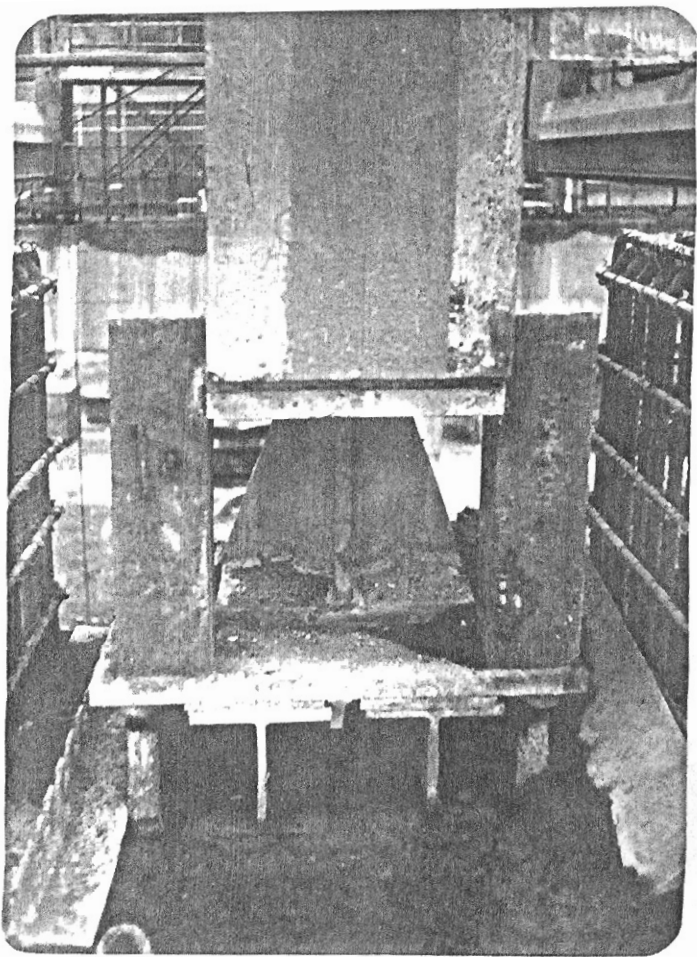


FIGURA 3.8.- VISTA DE PLANIA DE LA DISTRIBUCION DE LOS ASIENTOS DEL PRECIPITADOR ELECTROSTATICO.



G. 3.9.- ASIENTO FIJO EN EL PROCESO DE ALINEACION.



DE 84-

3.10.- ASIENTO FIJO CON EL PORTICO INSTALADO SOBRE EL.

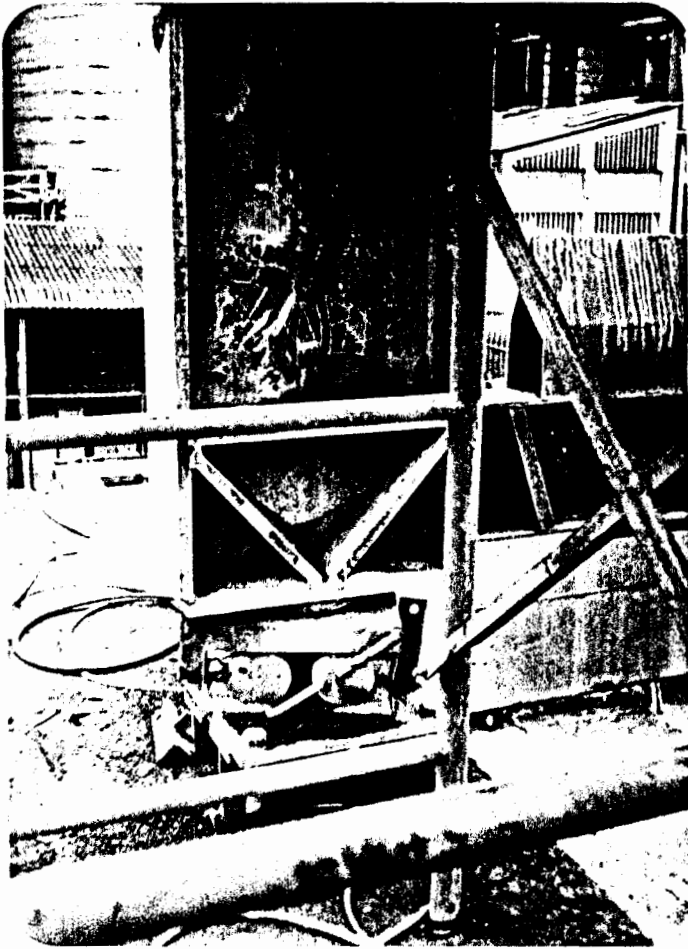


FIG. 3.11.- ASIENTO LIBRE DEL EXTREMO DE LA SALIDA DE GASES (LADO OPUESTO AL ASIENTO FIJO).

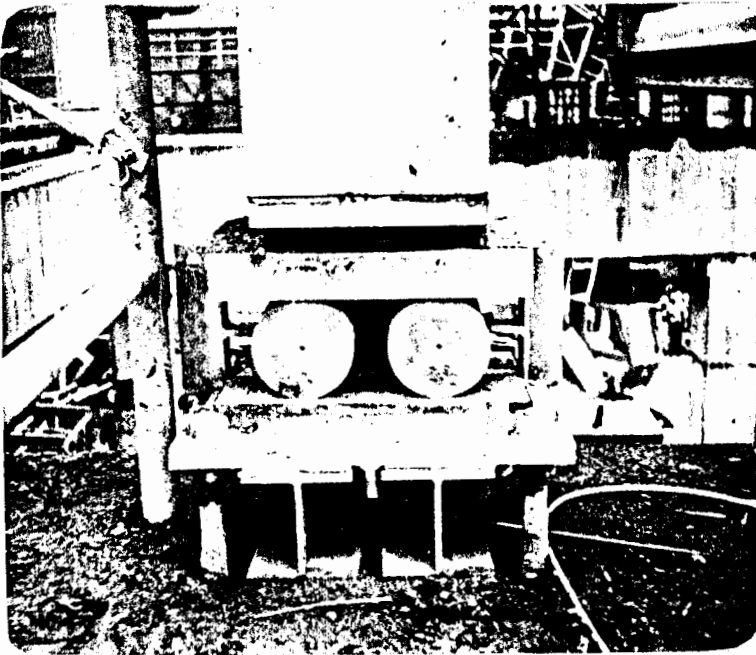


FIG. 3.12.- ASIENTO LIBRE DEL EXTREMO DEL INGRESO DE GASES (LADO CONTIGUO DEL ASIENTO LISO).

libres para dilatarse tanto longitudinalmente como transversalmente por efecto de las temperaturas de operación (ver figura 3.15).

2. Mientras tanto se comenzó a armar los pórticos del precipitador de la línea 1, para lo cual se preparó una cama nivelada sobre la cual apoyar los 4 elementos y proceder a unirlos primero con pernos y una vez cuadrado el pórtico se procedió a soldarlos con 3 equipos de soldadores (1 para cada esquina superior y 1 para las dos esquinas inferiores). Ver figura 3.13 y 3.14.

Por falta de espacio una vez armado un pórtico se procedió a preparar una cama nivelada sobre los mismos para armar otro sobre ella, como se aprecia en las figuras 3.15 y 3.16.

Debido a que los pórticos son un elemento estructural crítico se procedió a realizar los ensayos no destructivos (Ultrasonido y partículas magnéticas) requeridos para evaluar y aprobar o no las uniones soldadas. Esta inspección no destructiva la realizó la ESPOL el 18 de Febrero de 1987 y cuya copia se presenta en el anexo A.

Por seguridad en la maniobra de montaje de los pórticos sobre el edificio base se procedió a colocar un elemento tensor para unir la viga

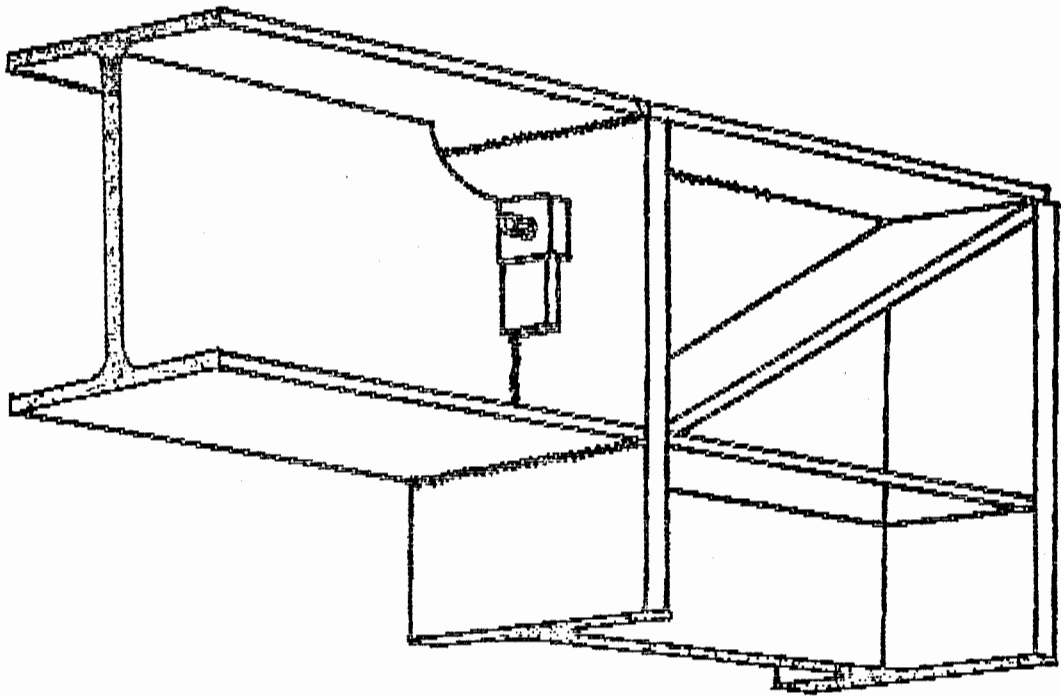
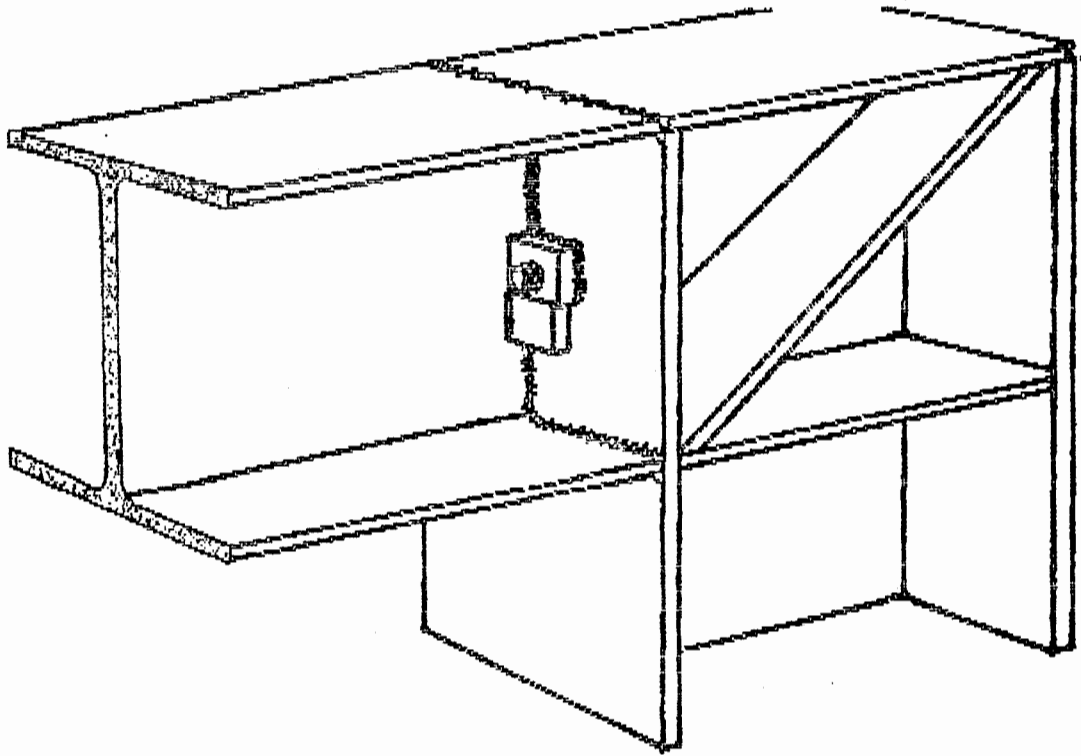


FIG. 3.13.- VISTAS DE LAS UNIONES SOLDADAS DE LAS ESQUINAS SUPERIORES DE LOS PORTICOS.

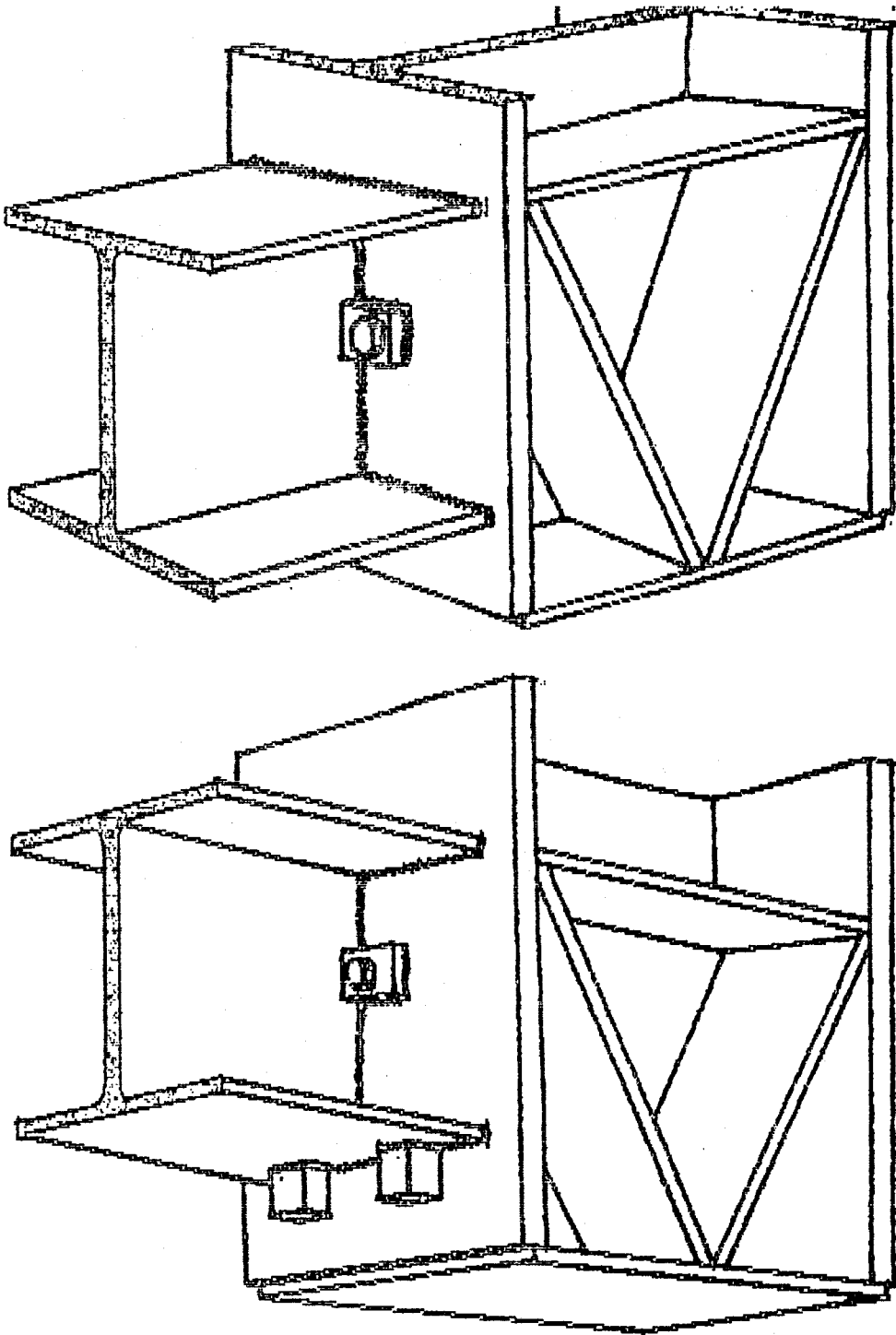


FIG. 3.14.- VISTAS DE LAS UNIONES SOLDADAS DE LAS ESQUINAS INFERIORES DE LOS PORTICOS.



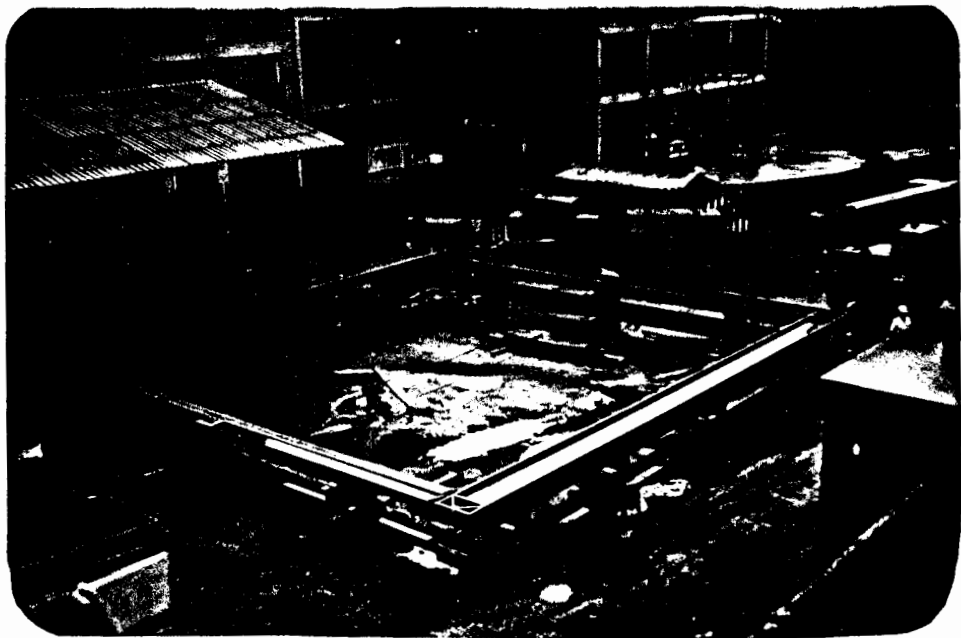


FIG. 3.15.- OPERACION DE ARMADO DE LOS PORTICOS DEL PRECIPITADOR ELECTROSTATICO.



FIG. 3.16.- MONTAJE DEL PRIMER PORTICO DEL PRECIPITADOR ELECTROSTATICO.

superior con la inferior.

En la colocación del primer pórtico se utilizó una grúa hidráulica de 75 Ton.), pero dicha grúa instaló el pórtico con dificultad (ver figura 3.16 y 3.17 por lo cual los siguientes pórticos se los montó con una grúa mecánica Bucyrus-Ruston de 55 Ton. y 43 mts de castillo (ver figura 3.18).

Una vez instalado el primer pórtico este se fijaba por medio de tensores 2 por cada lado y se procedía a verificar su perpendicularidad y alineación tanto transversal como longitudinal, y al colocar el siguiente pórtico se realiza la misma operación y se la unía al anterior por medio de ángulos de 80x80x6 mm, de forma que una vez montados los cuatro pórticos estos se constituían en un solo cuerpo, como se aprecia en la figura 3.18.

La maniobra de armado y montaje de los pórticos del precipitador de la línea 2 se realiza como en el de la línea 1.

3. Una vez montados y alineados los pórticos se procedió a la colocación del planchaje lateral como se aprecia en las figuras 3.19 y 3.20, para lo cual se utilizó un equipo de armadores-soldadores, los mismos que fueron acoplado las planchas por medio de los cono-

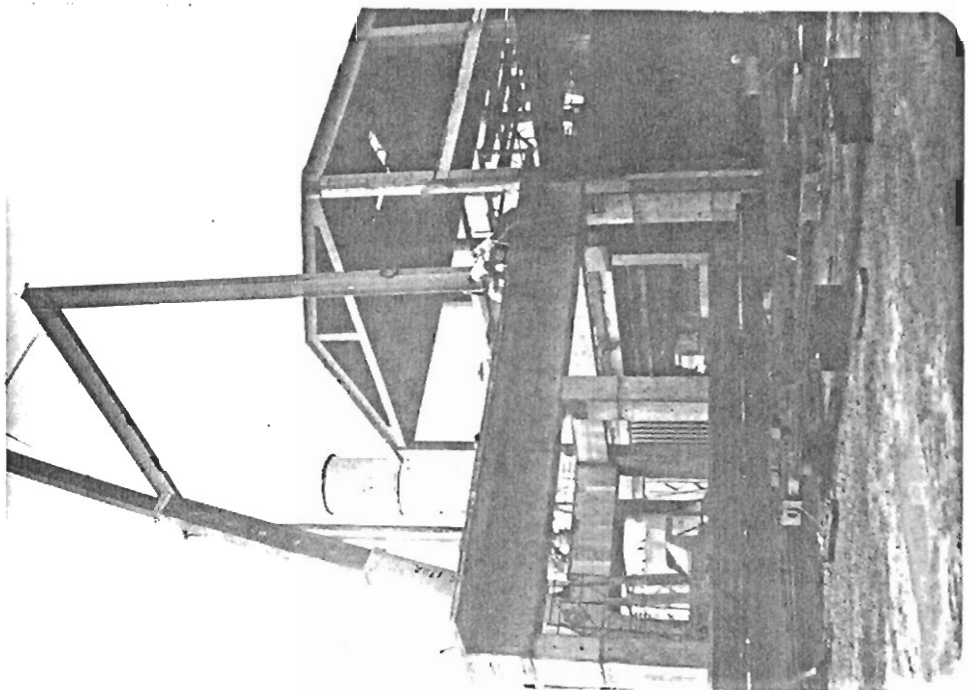
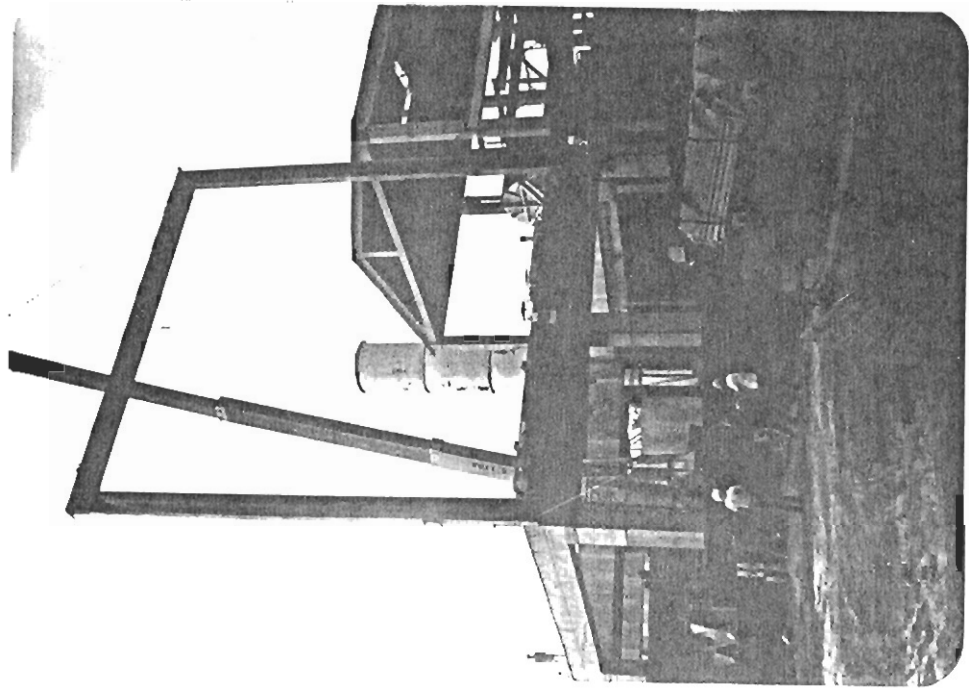


FIG. 3.17.- MONTAJE DEL PRIMER PORTICO DEL PRECIPITADOR ELECTROSTATICO DE LA LINEA 1 DE LA PLANTA "CERRO BLANCO".

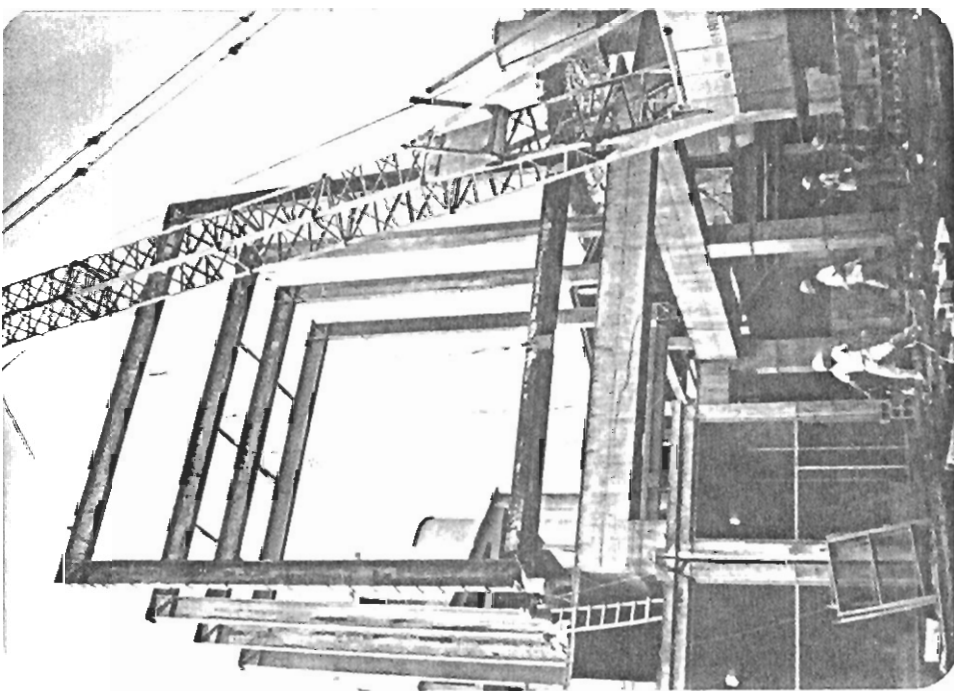
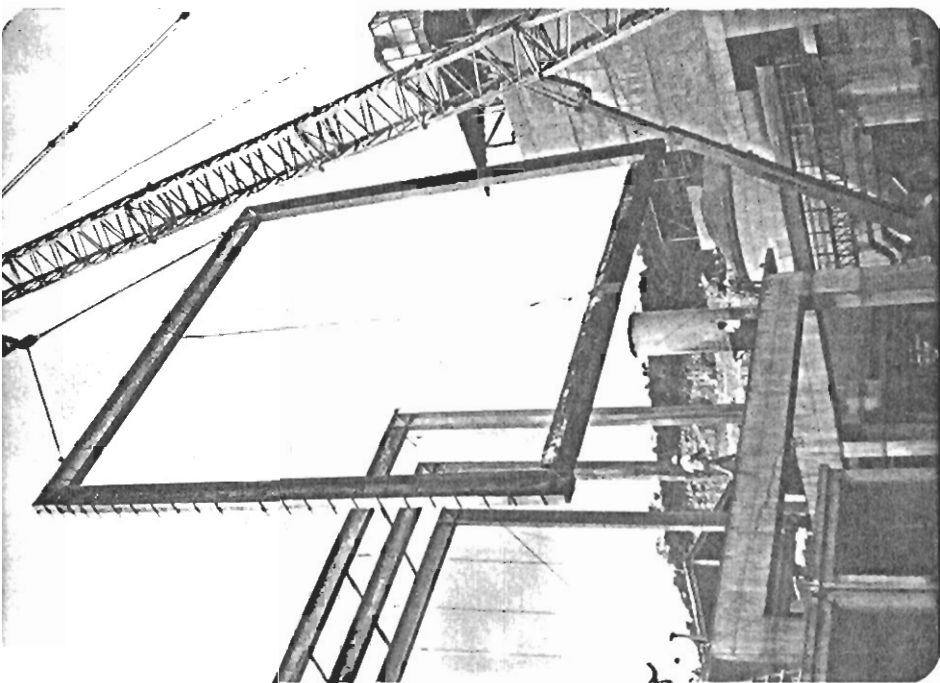


FIG. 3.18. - MONTAJE DEL ULTIMO PORTICO DEL PRECIPITADOR ELECTROSTATICO DE LA LINEA 1 DE LA PLANTA "CERRO BLANCO".

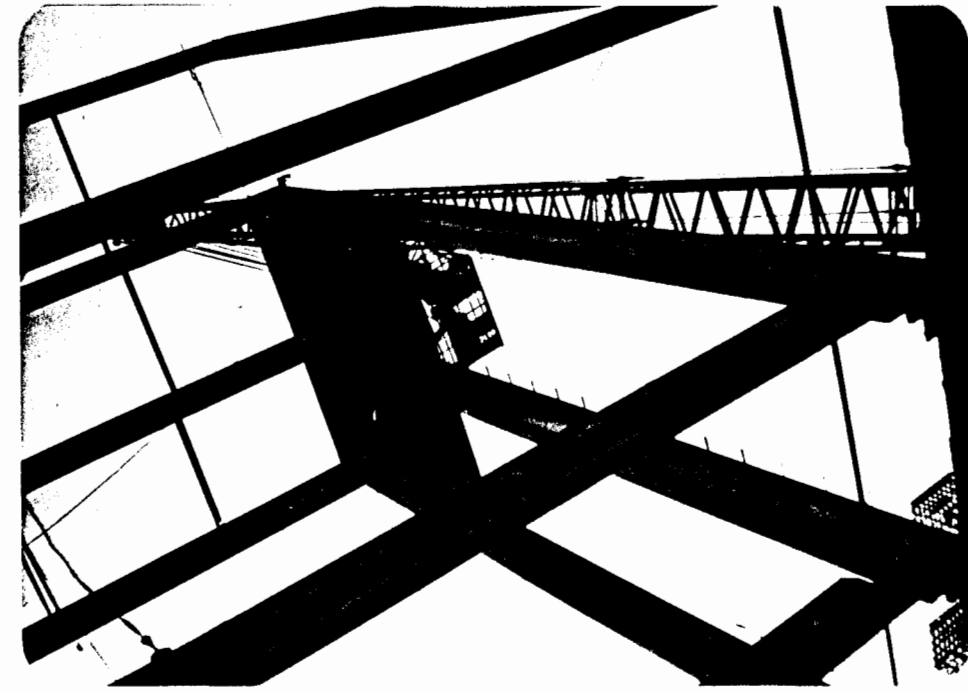
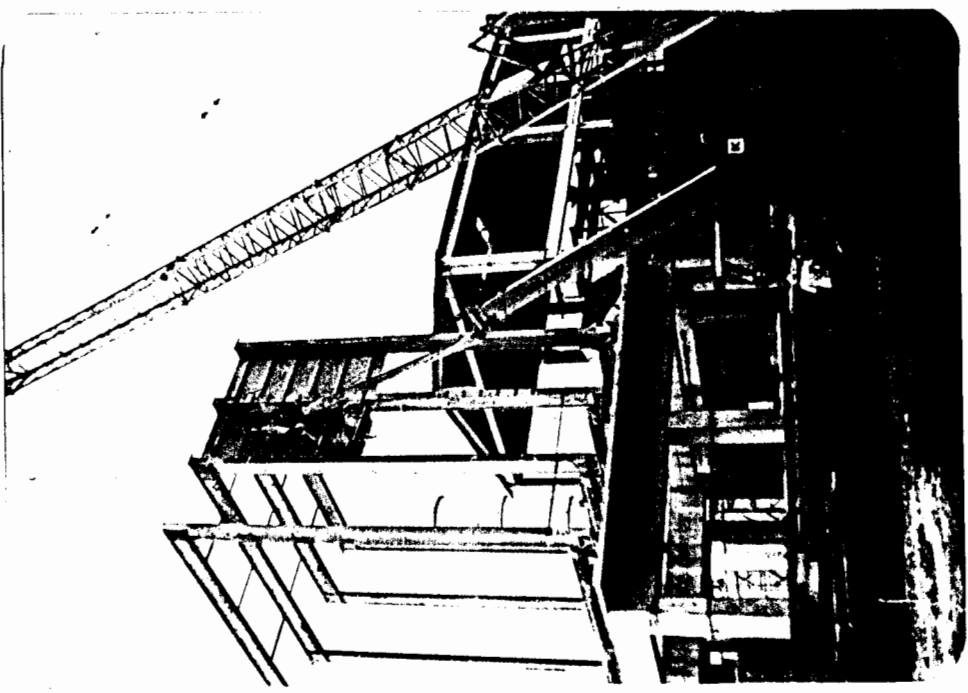


FIG. 3.19.- OPERACION DE SOLDADO DEL PLANCHAJE LATERAL DEL PRECIPITADOR ELECTROSTATICO DE LA LINEA 1 DE LA PLANTA "CERRO BLANCO".  
DERECHA: VISTA EXTERIOR IZQUIERDA: VISTA INTERIOR

cidos perros y puntos de soldadura mientras dos soldadores unían las planchas definitivamente con cordones continuos de 6 mm por el lado interior del precipitador, y por el lado exterior cordones de 200 mm separados por espacios de 150 mm. Las inspecciones realizadas a las soldaduras eran solo visuales y buscaban localizar porosidades y mordeduras. Terminadas de acoplar las planchas laterales se procedió a acoplar las del techo (extremos y centro) dejando libre la vía de ingreso para los elementos del sistema de emisión y colección. En esta fase del montaje se utilizó una grúa mecánica Bucyrus-Ruston de 55 Ton y una hidráulica Lorain de 18 Ton.

Como acotación, un porcentaje del planchaje lateral arribo en mal estado, por lo que fue preciso fabricarlos en el medio, lo cual demuestra que algunos elementos del precipitador pudieran elaborarse en el país, evitando así la importación y favoreciendo a la industria metal-mecánica nacional.

4. Por el mes de Marzo/87 se procedió al armado de las tolvas de recolección (2 longitudinales por cada precipitador), teniendo atención en la alineación debido a que en ellas se instalaron las rastras de recolección (dos por

cada precipitador). Ver figura 3.21.

La soldadura fue de cordones continuos de 6 mm por el lado interior y cordones de 200 mm con separaciones de 150 mm por el lado exterior, siendo inspeccionada la calidad de la soldadura visualmente en busca de porosidades y mordeduras.

5. Por otro lado se comenzó a armar los sistemas de colección (parte estructural), para lo cual se debió preparar una mesa de trabajo para garantizar el paralelismo de los elementos armados. Ver figura 3.22.

Una vez armados, se procedió a instalar (van fijos) los elementos superiores bajo el techo de los precipitadores (cada precipitador posee dos campos independientes), para a continuación ir colocando las placas colectoras pivotables (unidas por pasadores al elemento estructural, 248/campo, con las siguientes dimensiones  $h = 12500\text{mm}$ ,  $a = 500\text{mm}$ ,  $e = 1.5\text{mm}$ ), acoplando las guías inferiores a las placas y estas al sistema de limpieza (compuesto por 31 martillos por campo, motoreductores, etc.).

Las placas colectoras forman en cada campo 32 canales de circulación de los gases, teniendo cada canal las siguientes dimensiones:  $h = 12500\text{ mm}$ ,  $l = 4000\text{ mm}$ ,  $a = 400\text{ mm}$ .

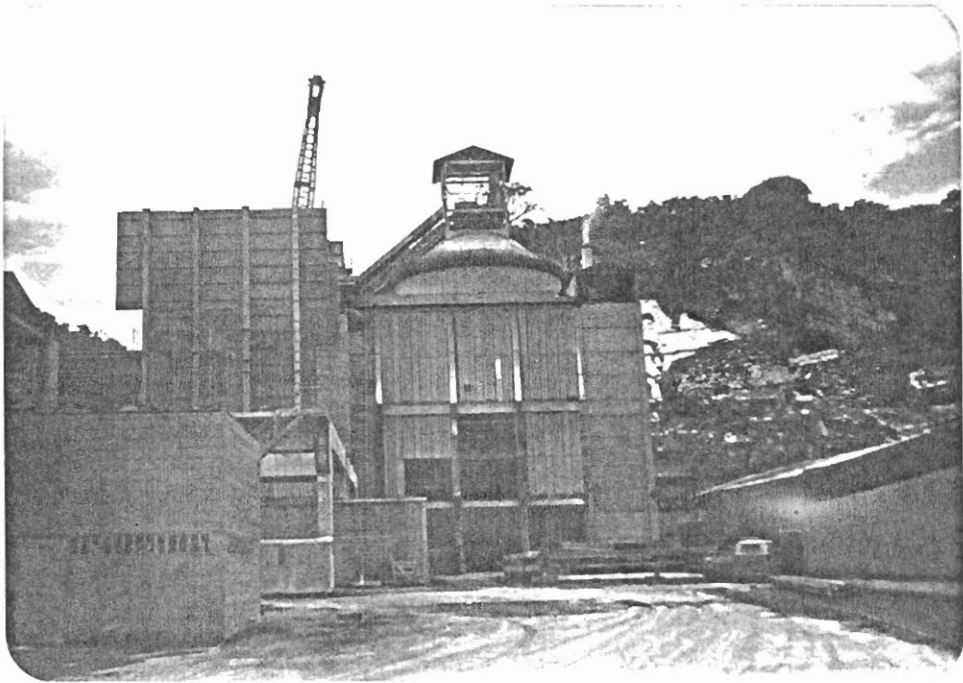


FIG. 3.20.- VISTA DEL AVANCE DEL SOLDADO DEL FLANCHAJE LATERAL DEL PRECIPITADOR ELECTROSTATICO.

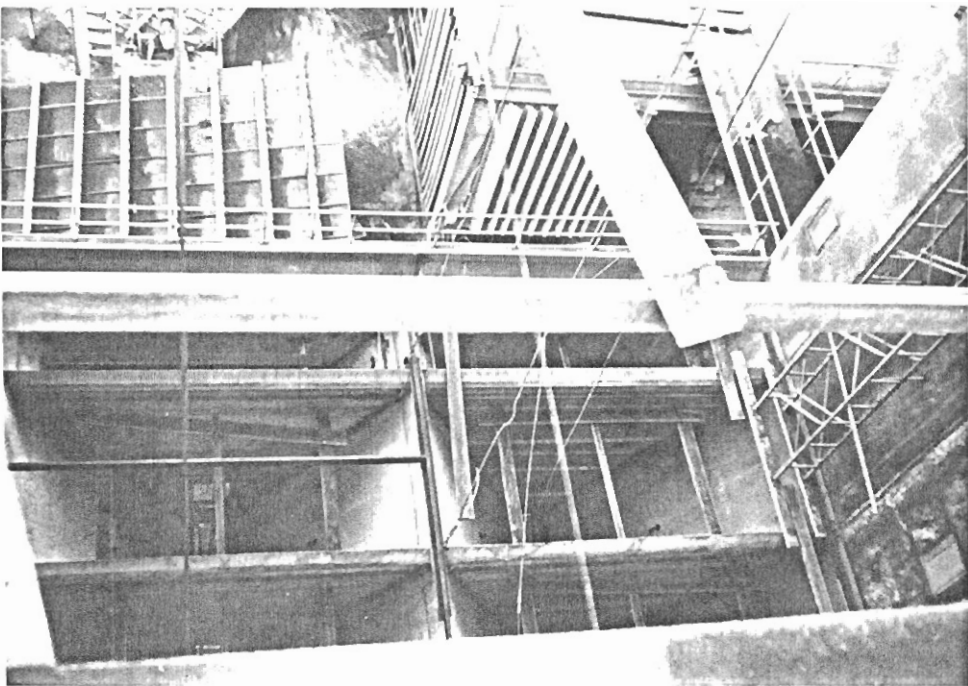


FIG. 3.21.- VISTA DE LAS TOLVAS RECOLECTORAS.



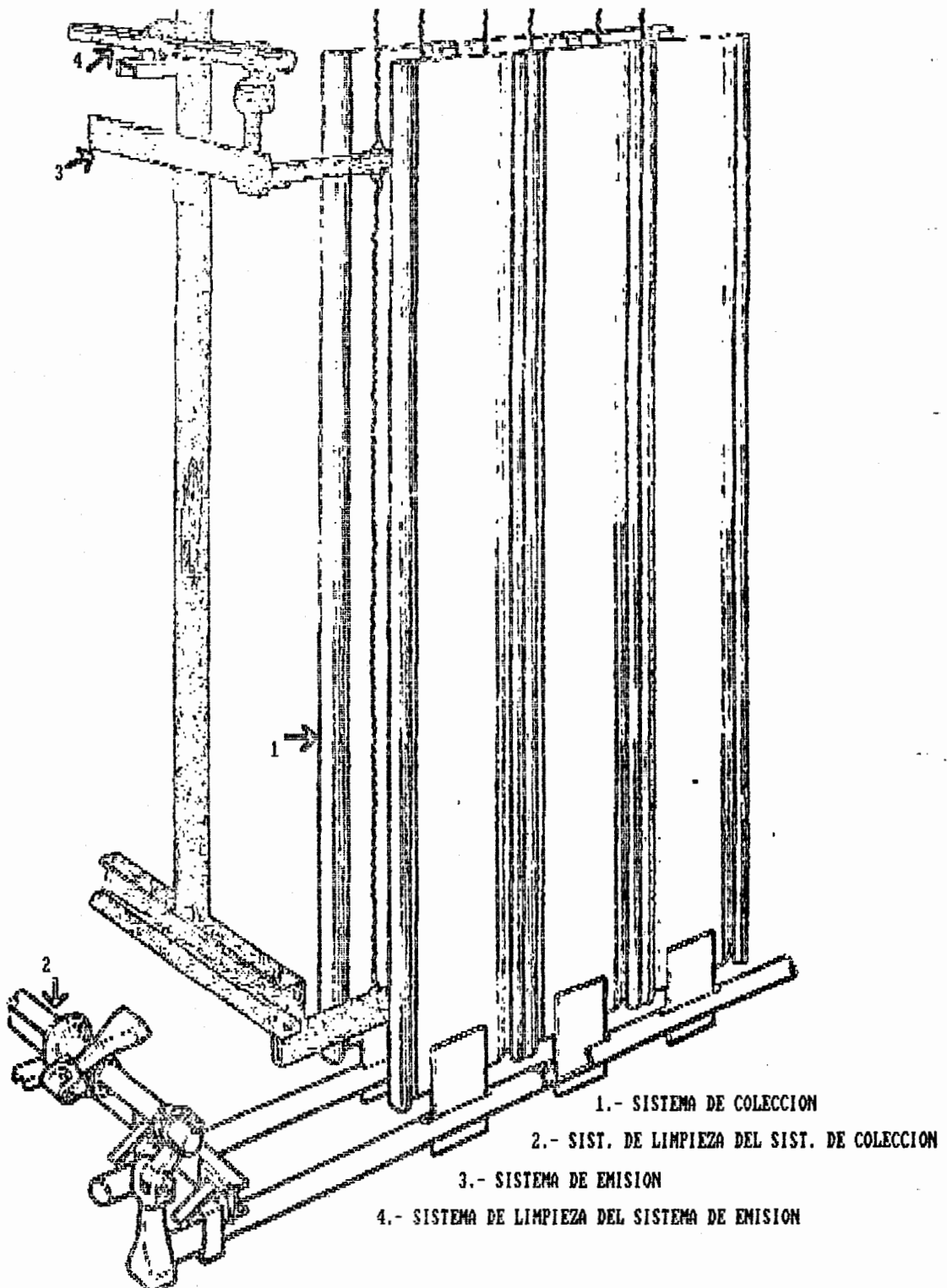


FIGURA 3.22.- ESQUEMA DE LOS SISTEMAS DE COLECCION Y EMISION Y SUS RESPECTIVOS SISTEMAS DE LIMPIEZA.

Para el montaje de las placas colectoras se requirió de la construcción de una torre grúa en la parte superior de los 2 precipitadores, la misma que poseía una altura de 15 mts sobre los precipitadores, con un brazo de 20 mts y una capacidad de 1000 Kg al extremo del brazo. Debido a la premura del tiempo (se deseaba tener preparado el precipitador #2 para una parada de horno #2 cercana) se decidió incrementar un grupo de montaje nocturno para la colocación de las placas colectoras.

Los requerimientos en el montaje por parte de la compañía suministradora del equipo exigían una precisión extrema para la correcta operación de los sistemas de limpieza.

6. Mientras se preparaba el sistema de colección se realizó lo mismo con el sistema de emisión. Ver figura 3.21.

El sistema de emisión está constituido por una estructura de dos niveles, la misma que es totalmente flotante, en la cual se instalan 1920 electrodos por campo de tipo espiral SS24 (los electrodos en la posición original estan recogidos) estirándolos con una herramienta especial enviada con el equipo. Estos electrodos solo se los podía estirar en una sola ocasión. Una vez instalados al sistema de emisión, se

procedió a acoplar el sistema de limpieza del mismo (constituido por: 30 martillos por campo, motoredutores, cadenas, catalinas y ejes).

Como en el sistema de colección, la precisión requerida fue extrema para la correcta operación del sistema.

Es de acotar que tanto el sistema de colección como el de emisión son paralelos al flujo de los gases, mientras que los sistemas de limpieza de los mismos son transversales.

El montaje de los sistemas de colección y emisión, son verdaderamente el tripaje del equipo, por lo que su montaje se lo realiza con armadores-mecánicos, siendo un trabajo de paciencia y que se lo realizó entre Abril y Julio de 1987.

7. Al tiempo que se preparaban los sistemas de colección y emisión, se procedía al ensamblaje de las transiciones de salida y entrada.

Para esta operación se la realiza como en los pórticos, acomodando una cama nivelada.

La transición de salida fue armada en dos secciones juntas y posteriormente separadas para la operación de montaje en el precipitador. Dicha operación fue realizada por tres grúas: 1 mecánica (Bucyrus-Ruston de

55 ton) y 2 hidráulicas (Lorain de 18 ton, Grove de 20 ton) y dos grupos de armadores soldadores. Ver figura 3.23.

La transición era acoplada al precipitador electrostático por puntas y colocando posteriormente los pernos, y una vez ajustados estos, se procedió al soldado con cordones continuos de 10 mm por el interior y cordones de 200 mm con separaciones de 150 mm por el lado exterior. Una vez montada la una sección se procedió al acople de la otra a la anterior empleando solo las dos grúas hidráulicas y soldandolas con cordones continuos de 6 mm por el interior y cordones de 200 mm con separaciones de 150 mm por el lado exterior (todas las planchas fueron armadas y soldadas bajo estas condiciones).

La transición de entrada está compuesta por tres secciones: superior, intermedia e inferior, procediéndose de la siguiente forma. Ver figura 3.24.

La sección inferior fue armada solo en su mitad interior en una cama nivelada debido a que por lo reducido del espacio de maniobra (existente entre los edificios de los precipitadores y de las enfriadoras) y acoplada con el empleo de la grúa mecánica y

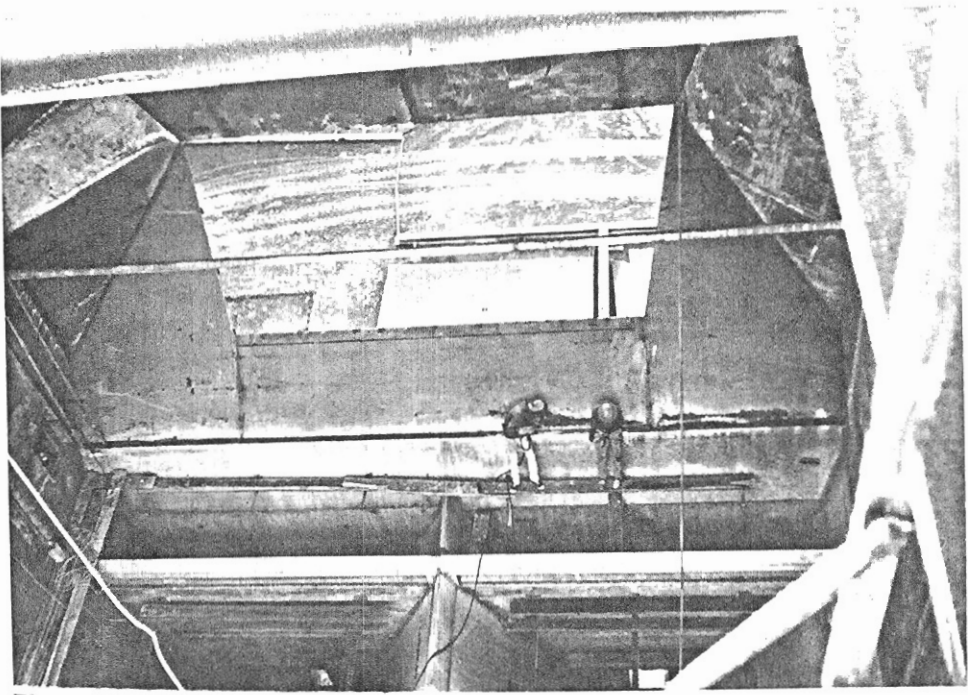
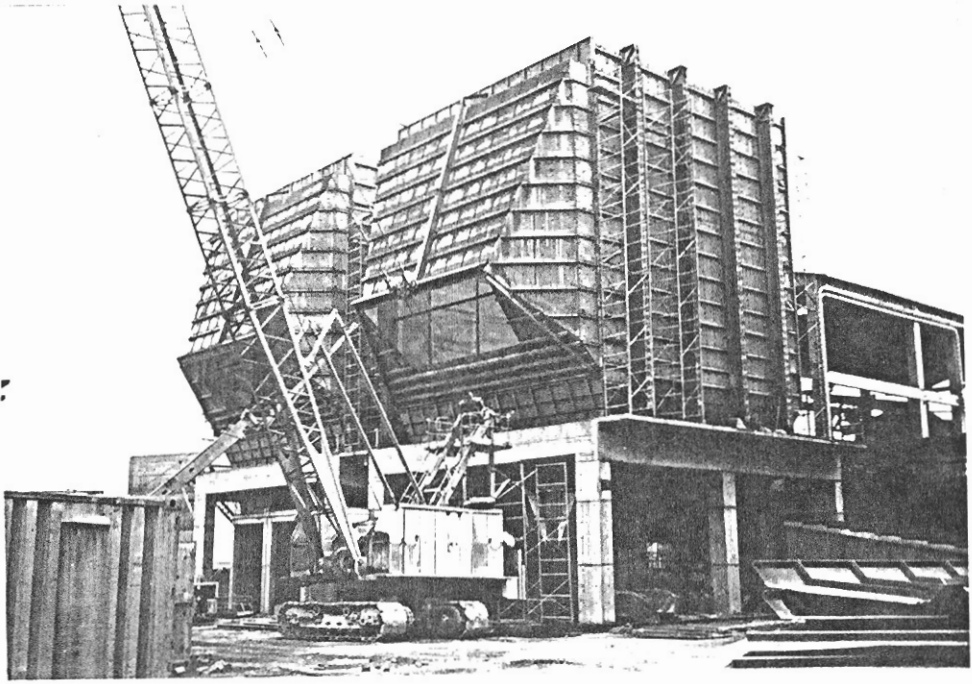


FIG. 3.23.- TRANSICION DE SALIDA DEL PRECIPITADOR ELEC-  
TROSTATICO. ARRIBA: VISTA EXTERIOR; ABAJO:  
OPERACION DE SOLDADO LADO INTERIOR.

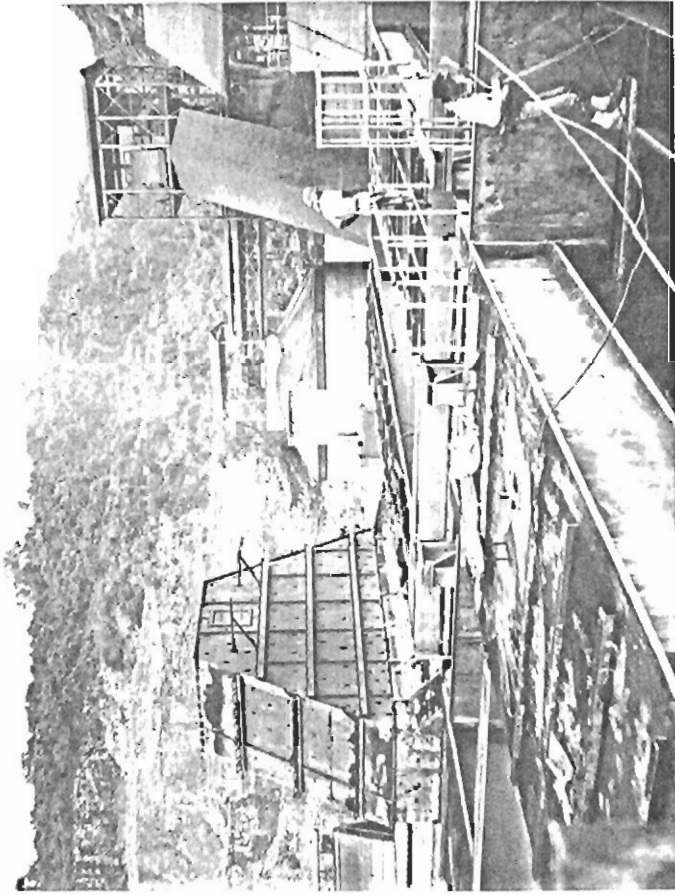
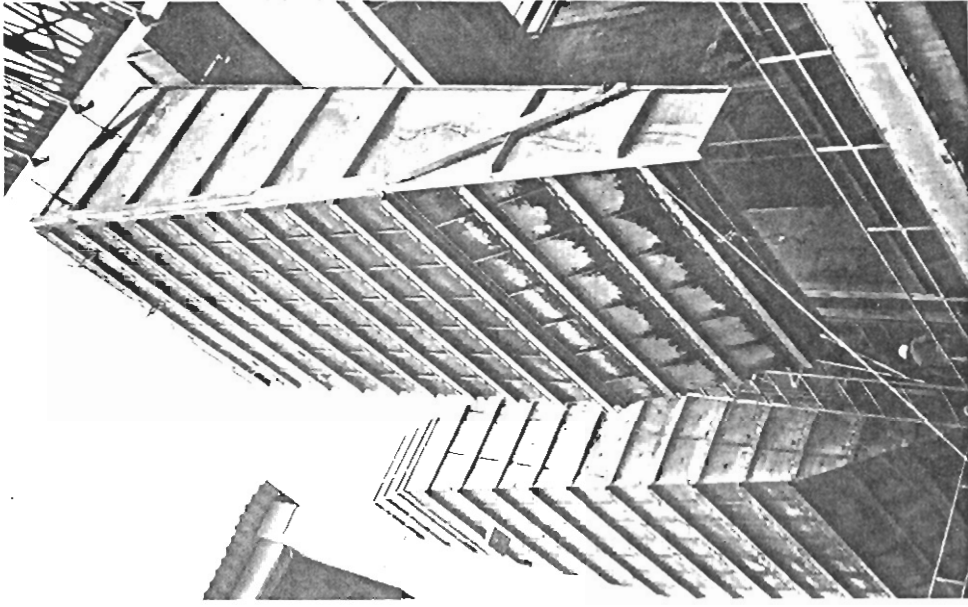


FIG. 3.24.- TRANSICION DE ENTRADA DEL PRECIPITADOR ELECTROSTATICO.  
DERECHA: MONTAJE DE LA MITAD DE LA SECCION INFERIOR.  
IZQUIERDA: VISTA DE LA SECCION INTERMEDIA Y DEL TECHO.

de dos grupos de armadores-soldadores (la unión de la sección con la estructura se la realiza como en la transición de salida), el resto de la parte inferior se la acopló directamente a la estructura del precipitador. La sección intermedia fue armada en dos partes (esta sección está conformada por dos pirámides truncadas de base rectangular), y estas a su vez acopladas independientemente a la sección inferior (ya montada a la estructura del precipitador).

La sección superior fue acoplada (en partes) directamente al resto de la transición de entrada.

Tanto la sección intermedia como la superior poseen elementos internos que son: un distribuidor (armado con cada sección piramidal) y un deflector (cambio de dirección) en la superior (armado directamente en el sitio de destino).

Las planchas de la transición de entrada fueron soldadas siguiendo el procedimiento establecido, cordones continuos de 6 mm por el interior y cordones de 200 mm con separaciones de 150 mm, siendo inspeccionados solo visualmente en busca de porosidades y mordeduras.

8. Una vez que el armado de los sistemas de colección y emisión estuvieran bien avanzados, se destinó a dos grupos de trabajo a la instalación de las mallas distribuidoras de gas tanto del ingreso como de la salida.  
Los elementos de mayor dimensión son enviados en dos partes, debiéndose preparar una cama para ensamblarlas y proceder a su instalación.
9. Terminadas las tolvas de colección se procedió a la instalación de las rastras recolectoras compuestas por: sistemas motriz, cadenas, sistemas de tensión (tambor loco).  
Las tolvas formaban la parte estructural de las rastras colectoras, y sobre los mamparos externos se acoplaban por medio de pernos los sistemas motriz y tensor.  
En el sistema motriz se instalaron las válvulas rotatorias con sistema motriz propio.
10. El planchaje del techo fue terminado una vez concluido los sistemas de colección y emisión. Procediéndose a la soldadura con el procedimiento normal establecido.
11. Concluido el planchaje del techo se procedió a la instalación de los transformadores-rectificadores, cajones de unión de los electrodos del sistema de emisión y otros.
12. Se procedió al final a la instalación de



diversas partes finales del equipo como son: puertas de acceso, bases selladas para motoreductores del sistema de limpieza de los sistemas de emisión y colección, escaleras de acceso, etc.

13. El recubrimiento del precipitador electrostático con el aislamiento térmico (lana de roca) se lo realiza con cuatro equipos de trabajo, de los cuales dos procedían a instalar los clavos de soporte y dos a la instalación del aislamiento. En la figura 3.25 se pueden apreciar algunos casos de la forma como se aplicaba la lana de roca. Para la realización de este trabajo se utilizan los conocidos andamios.
14. Recubierto con lana de roca la estructura del precipitador se comenzó a forrarla con las planchas de aluminio, como se observa en las figuras 3.26 y 3.27, estas planchas estaban fijadas por medio de los conocidos remaches pop de 3.2 mm (enviados con el equipo) requiriéndose utilizar taladros y brocas de 3.25 mm (brocas descartables, enviadas con el equipo) andamios y cuatro grupos de trabajo. Solo el techo no fue recubierto con plancha de aluminio sino en plancha negra de 4.5 mm antideslizante.

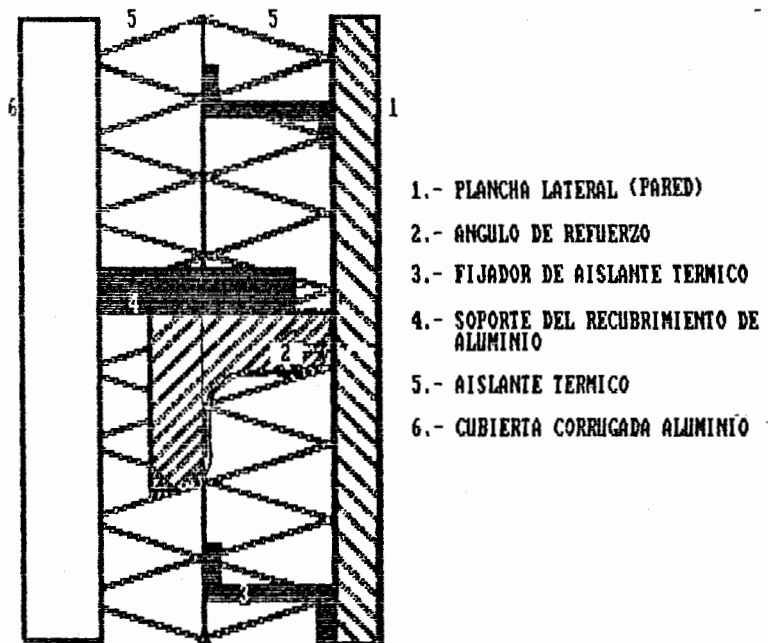
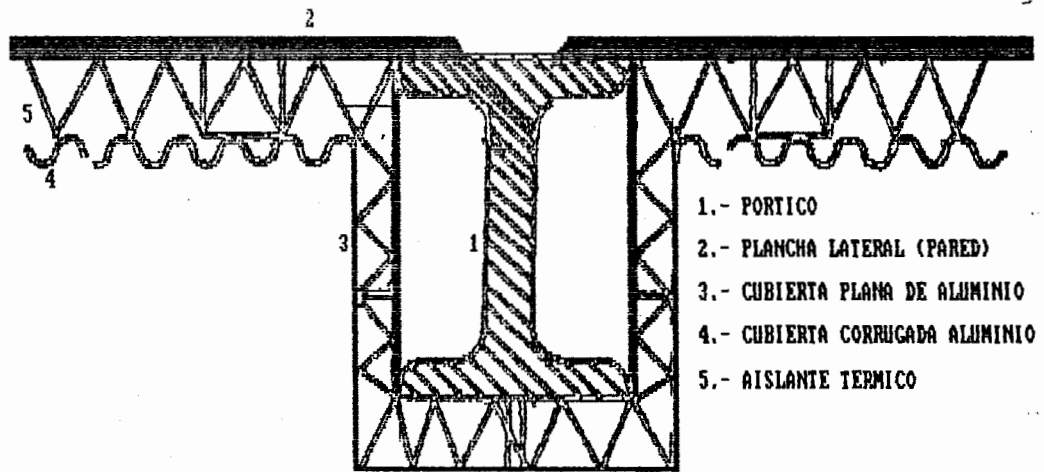


FIG. 3.25.- TIPOS DE AISLAMIENTO TERMICO (APLICACIONES)

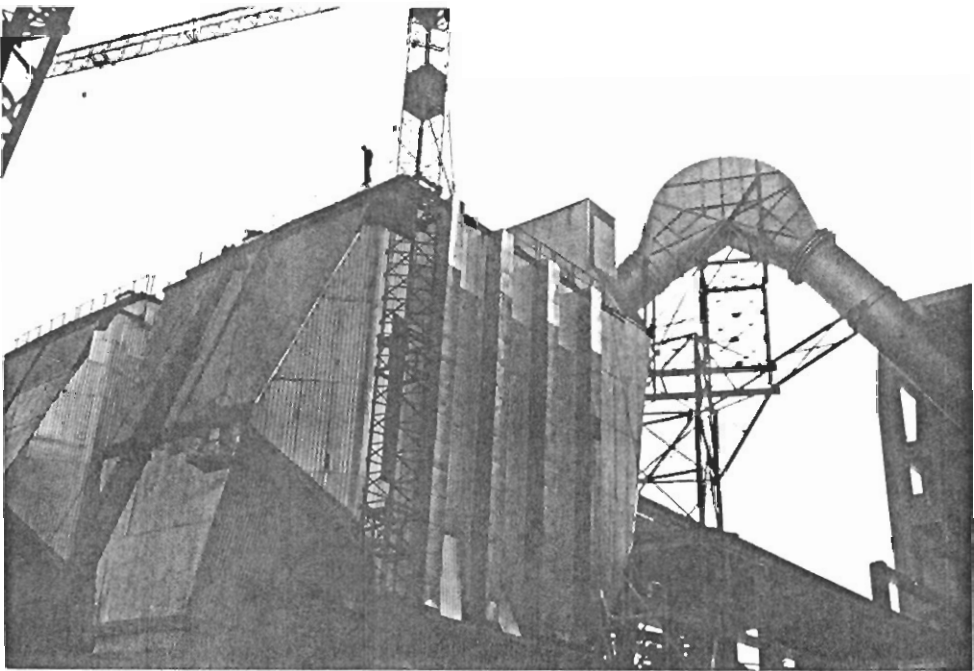
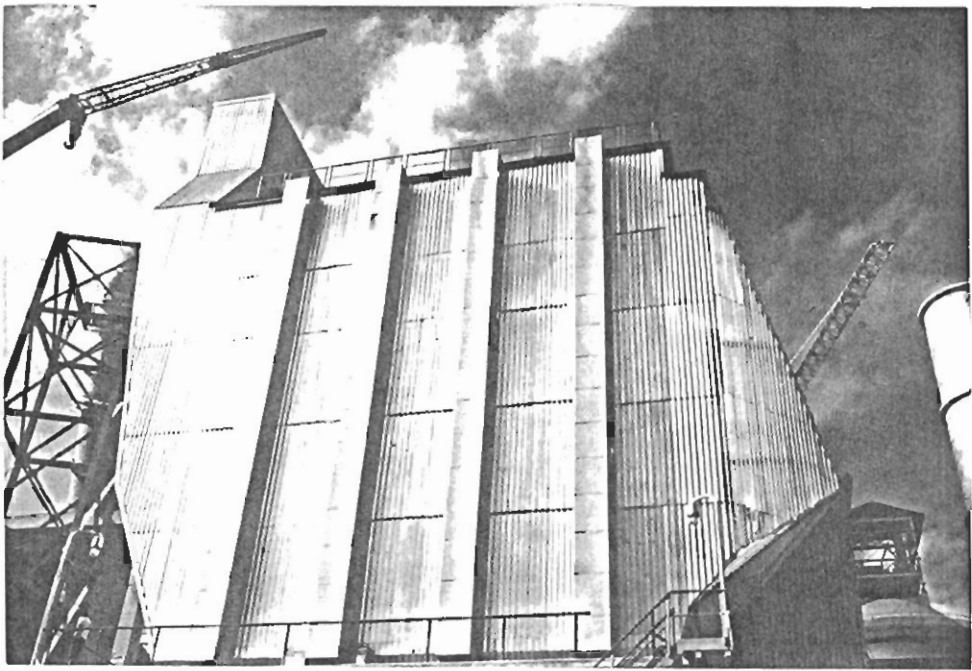


FIG. 7.25.- VISTAS LATERALES DE LOS PRECIPITADORES ELEC-  
TROSTATICOS.

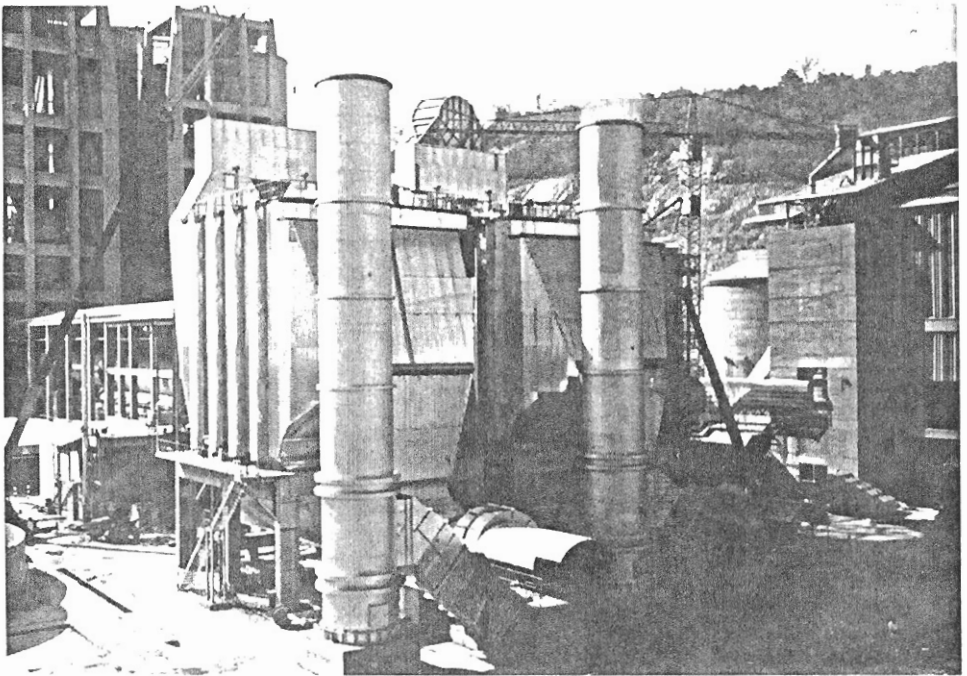
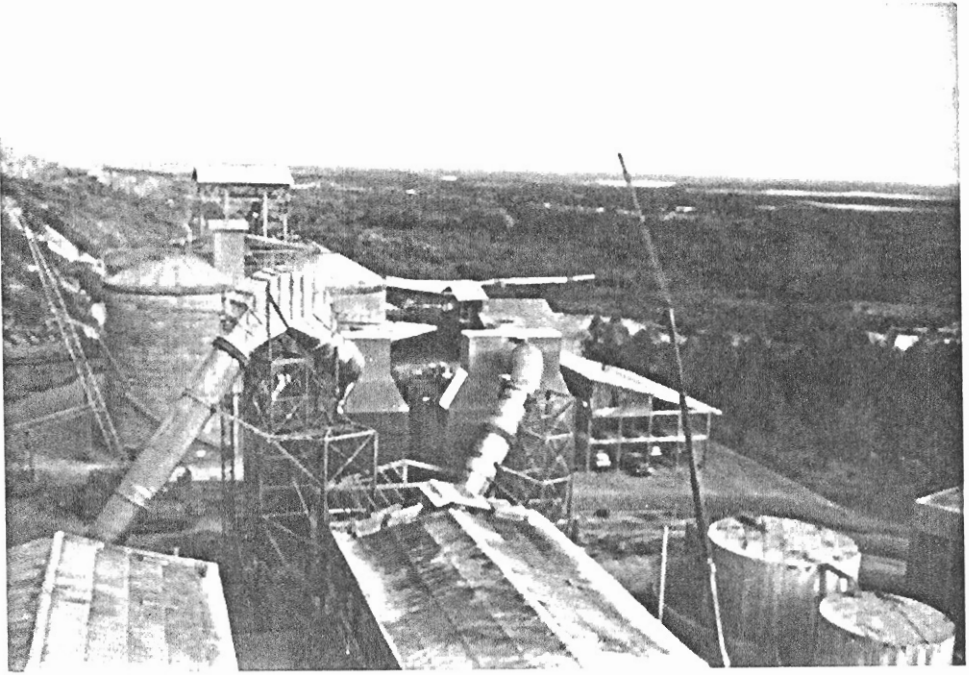


FIG. 3.27.- VISTA ANTERIOR Y POSTERIOR DE LOS PRECIPITADORES ELECTROSTATICOS.

15. A medida que avanzaba la obra fue necesario la remoción de elementos utilizados para el montaje como son: topes, orejeras, pernos, torre grúa, escaleras, etc.

La construcción del precipitador electrostático requirió como podemos concluir de lo anteriormente de equipos de soldadura (440V) equipo de oxicorte (butano y acetileno) grúas (mecánica, hidráulica), esmeriles y taladro portagrúas, equipos de seguridad, torre grúa, herramientas manuales, cabos, patecas, andamios, pintura, etc y un personal que oscilaba entre 20 y 60 hombres (armadores, soldadores, mecánicos, ayudantes, operadores de grúa, etc.).

f. Rastras transportadoras; fue el armado e instalación de las rastras que transportarían el material recuperado en el transportador Aumund, en la figura 3.28 se puede apreciar su disposición en el sistema.

Las rastras transportadoras fueron totalmente ensambladas utilizando pernos.

g. Ventilador-contraeje-motor-reductor; terminadas las bases de hormigón armado para estos elementos se procedió al ensamblaje de los mismos, procediéndose de la siguiente forma.

Se armó la mitad inferior de la cáscara, y el

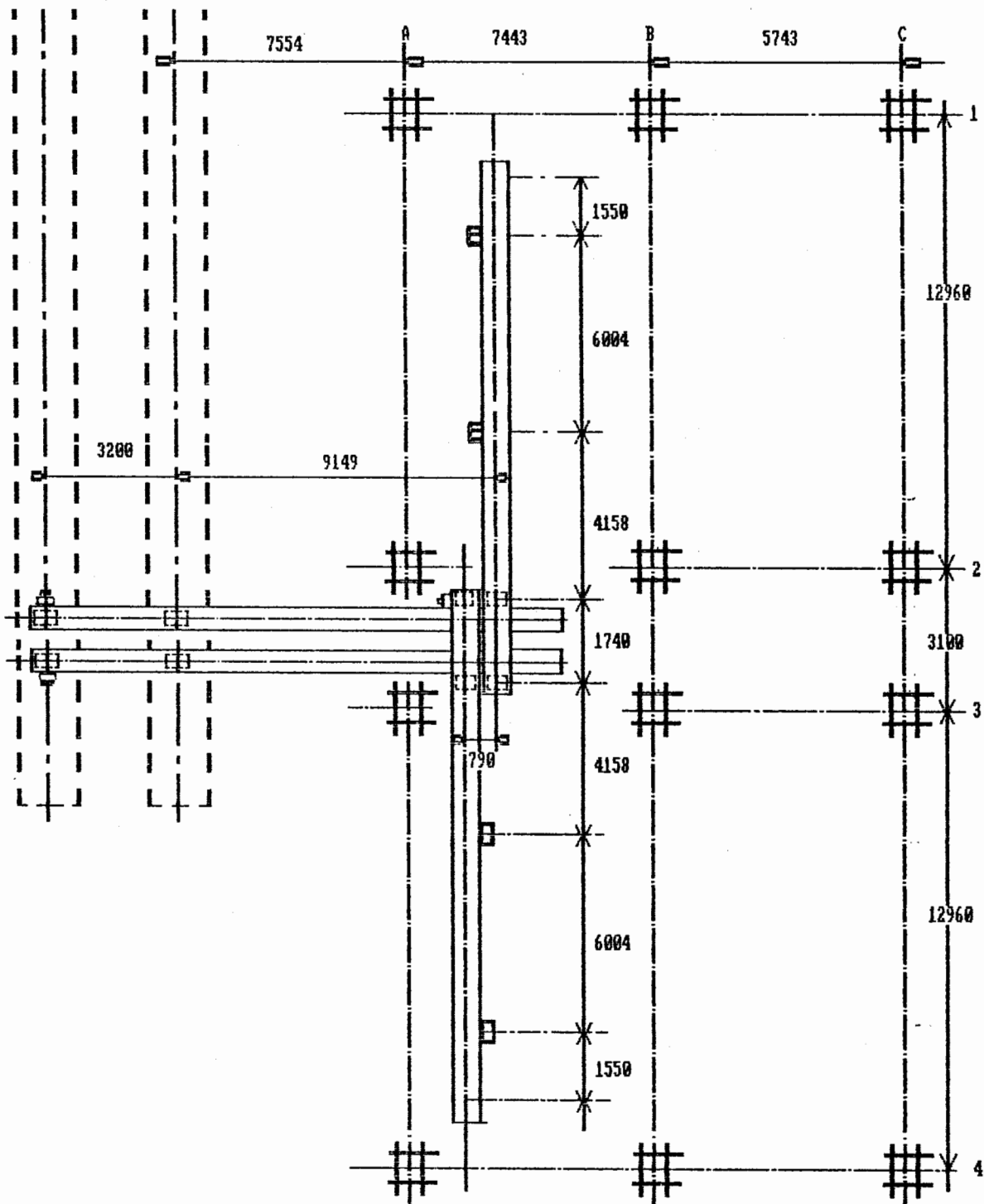


FIG. 3.28.- VISTA DE PLANTA DE LA DISPOSICION DE LAS BASTRAS TRANSPORTADORAS EN EL SISTEMA.

contraeje, los cuales fueron alineados tanto longitudinalmente, transversalmente como verticalmente, posteriormente se instaló la turbina y se cerró la carcasa, procediéndose a verificar el balanceo estático de la turbina. A continuación se repitió el procedimiento con el reductor y el motor.

La carcasa estaba compuesta de varias secciones unidas por medio de pernos, el contraeje era de una sola pieza y lo mismo con el reductor y el motor.

En cuanto al anclaje (pernos de fijación), en la base de hormigón armado estos eran libres al momento de acoplar los elementos arriba mencionados, fijandolos con un hormigón especial una vez alineados dichos elementos.

En la figura 3.29 se puede observar un corte del ventilador y el contraeje ya montados.

- h. Conexión del precipitador electrostático con la enfriadora de clinker; como se mencionó la línea 2 fue a la que se le incremento el ritmo de trabajo bajo la justificación de una parada del horno respectivo.

En la operación de conexión del sistema existente con el mismo se procedió de la siguiente forma:

1. Verificación del sistema nuevo; se comprobó

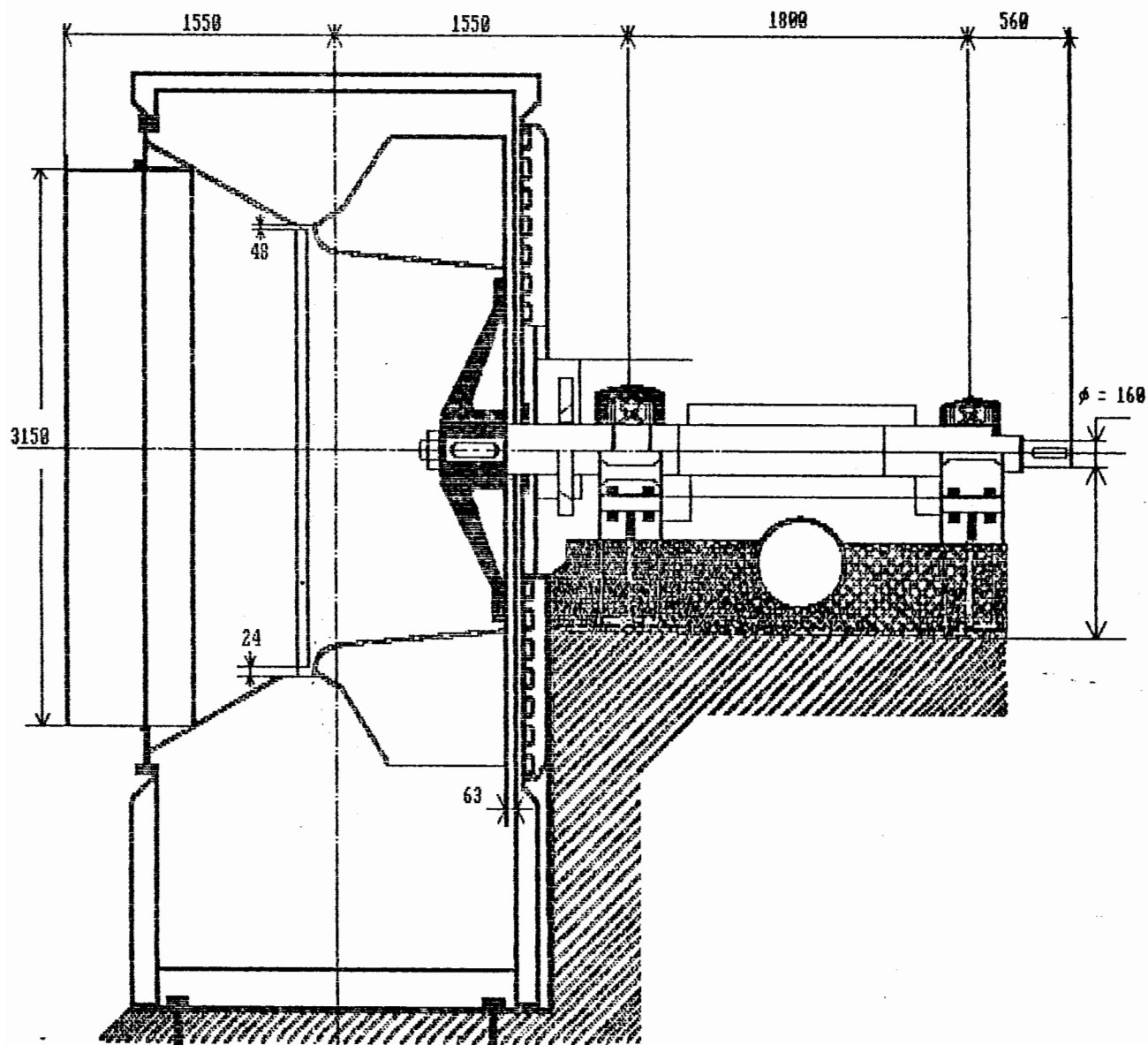


FIG. 3.29.- CORTE LONGITUDINAL DEL VENTILADOR Y CONTRAEJE



todo el sistema que consiste de precipitador, rastras, ventilador y circuito de control.

2. Instalación del sistema de inyección de agua; explicada en el numeral d.

3. Remoción del multiciclón existente; se desalojó la ductería que comunicaba a la enfriadora con el multiciclón y parte del mismo, para proceder a la instalación de la ductería del precipitador electrostático.

Para esta operación se requirió retirar parte de la cubierta del edificio de las enfriadoras y se empleo los siguientes equipos: grúas (1 mecánica y 1 hidráulica), equipo de soldadura y oxicorte, herramientas-manuales y 2 equipos de trabajo.

i. Desalojo del material sobrante; esta operación consistió en la remoción de los siguientes elementos: chimenea existente, restos del multiciclón existente y su ductería (enfriadora-multiciclón, multiciclón-ventilador, chimenea) ventilador y limpieza general del sitio.

Los procedimientos h e i se repitieron para el precipitador electrostático #1 en una campaña (parada) programada para Noviembre-Diciembre/87 de la línea 1.

La operación eléctrica.- Fue la encargada de la instalación de la acometida eléctrica, tanto para el

precipitador como para los equipos auxiliares), el sistema de distribución eléctrica (interno del precipitador), del circuito de control eléctrico (tablero de control y potencia) tanto interno como en el resto de la instalación cementera.

- a. Acometida eléctrica; fue la instalación de la acometida eléctrica desde la subestación eléctrica hacia el sistema.
- b. Sistema de distribución eléctrica; fue la instalación de la red de distribución eléctrica interna del sistema.
- c. Circuito de control eléctrico; fue la instalación de los tableros de control de operación y de potencia del precipitador electrostático y de sus equipos auxiliares, esto fue ubicado en el cuarto para los sistemas de control eléctrico.

En la tabla 3.3 se presenta el cronograma de montaje mecánico de los precipitadores electrostáticos para clinker.

### 3.3. PRUEBAS Y AJUSTES

Los equipos como los precipitadores electrostáticos requieren de muy poco ajuste y mantenimiento una vez arrancados.

Antes de su arranque son chequeados ciertos elementos como son: separación entre las placas colectoras (400 mm), estado de los electrodos,

CONCEPTO	FECHA	ABRIL	JUNIO	AGOSTO	OCTUBRE	DIC/86	FEBRERO	ABRIL	JUNIO	AGOSTO	OCTUBRE
		MAYO/86	JUL/86	SEPT/86	NOV/86	ENER/87	MARZ/87	MAYO/87	JUL/87	SEPT/87	NOV/87
ACOMETIDA ELECTRICA											
SISTEMA DE DISTRIBUCION ELECTRICA:											
MONTAJE DE CANALETAS											
CABLEADO											
CIRCUITO DE CONTROL ELECTRICO:											
TABLEROS DE POTENCIA											
TABLEROS DE CONTROL											
SENSORES Y APARATOS											
TRANSFORMADORES-RECTIFICADORES											
PRUEBAS Y CALIBRACION INSTRUMENTOS											

TABLA 3.3.- CRONOGRAMA DEL MONTAJE ELECTRICO DE LOS PRECIPITADORES ELECTROSTATICOS PARA CLINKER

sistema de limpieza, rastras recolectoras, todo esto en lo referente a lo mecánico.

En lo que respecta al aspecto eléctrico este solo se opera en base a tres parámetros que son: voltaje ( $32-40 \times 10^3$  V), amperaje (600 mA) y el número de chispas por minuto (Max 12 chispas por minuto), donde estas son variadas automáticamente por un sistema de control propio del equipo.

( $\uparrow$  V,  $\uparrow$  A,  $\downarrow$  # chispas/min).

Los precipitadores electrostáticos no han requerido hasta la fecha (Junio/89) de mantenimiento, salvo en el caso del eje aislador (porcelana) de los sistemas de limpieza, siendo la causa un defecto de diseño (poca sección), solucionandose con el reemplazo de otro eje aislador de mayor diámetro.

Arrancados los equipos, estos debían ser fiscalizados para verificar la garantía del fabricante en cuanto a la eficiencia del mismo que debía de ser del 99.83% para un flujo de gases de  $7360 \text{ m}^3/\text{min}$  con una concentración de polvo a la entrada de  $60 \text{ gr}/\text{Nm}^3$  y a la salida de  $100 \text{ mg}/\text{Nm}^3$ , a una temperatura de operación de  $250^\circ\text{C}$  para una instalación cementera de 2200 ton clinker/día de producción, lo cual implica una emisión de 0.55 ton clinker/día que corresponden a 0.025% de la producción y una recuperación de 331.45 ton clinker/día que corresponden al 15% de la producción.

Por la disponibilidad técnica, la metodología que se utiliza para medir la emisión de polvo fue la del clásico tubo de pitot provisto de una campana de papel filtro para retener las partículas cada cierto tiempo, obteniéndose los resultados que se aprecian en la tabla #3.4. De donde se concluye que la concentración promedio de contenido de polvo a la salida fue de 30 mg/Nm<sup>3</sup>, la cual a una temperatura de operación de 250°C nos implica una emisión de aproximadamente 0.148 ton clinker/día que corresponde al 0.0085% de la producción (los hornos de la planta Cerro Blanco tienen una capacidad de 1750 ton clinker/día).

Por otro lado se realizó un muestreo en las descargas de las rastras recolectoras de los precipitadores electrostáticos, cuyos valores se aprecian en la tabla #3.5. De donde se obtiene que se logra recuperar de 31.2 a 48 ton clinker/día por equipo, que representa el 2.25% de la producción.

PRECIPITADOR ELECTROSTATICO # 1												PRECIPITADOR ELECTROSTATICO # 2											
MUESTRA	TIEMPO (SEG)	Vm (m3)	Tm (°C)	Pbar (mm Hg)	H (mm Hg)	Mn (mg)	Tchm (°C)	TIEMPO (SEG)	Vm (m3)	Tm (°C)	Pbar (mm Hg)	H (mm Hg)	Mn (mg)	Tchm (°C)									
1	300	0.0095	23.80	756.00	4.52	81.0	146	300	0.0098	23.70	753.50	4.500	87.7	152									
2	300	0.0436	22.80	755.80	4.69	87.0	146	300	0.0407	23.30	755.90	4.899	84.9	151									
3	300	0.0792	23.40	753.70	4.86	79.1	150	300	0.0809	23.00	753.20	4.871	85.2	151									
4	300	0.1209	21.30	752.70	4.30	80.1	150	300	0.1230	23.40	753.00	4.281	87.0	152									
5	300	0.1659	23.00	751.90	3.31	77.3	145	300	0.1649	22.60	752.10	3.333	88.1	145									
6	300	0.1943	25.70	753.50	3.16	80.7	147	300	0.1939	23.30	753.10	3.172	92.4	148									
7	300	0.2342	22.60	752.60	2.97	78.2	151	300	0.2340	22.80	752.90	2.990	90.0	150									
8	300	0.2881	24.20	754.20	2.80	79.0	151	300	0.2877	19.90	754.00	2.826	87.3	150									
9	300	0.3494	23.70	753.00	3.29	75.8	153	300	0.3490	22.10	753.40	3.312	81.9	154									
10	300	0.3818	19.50	749.90	3.10	85.6	150	300	0.3799	26.10	750.20	3.090	79.8	149									
11	300	0.4163	20.00	757.10	3.38	70.1	147	300	0.4181	23.30	757.30	3.400	75.7	148									
12	300	0.4572	26.00	750.40	3.74	82.5	145	300	0.4612	23.70	751.00	3.474	83.6	145									
TOTAL	3600	2.7404				956.4		3600	2.7431				1023.6										
X			23.00	753.40	3.69	79.7	148.42			23.10	753.30	3.679	85.3	149.6									
CE			28.98 mg/Nm3					CE					31.02 mg/Nm3										

FORMULAS:

CE = Mn/Vmstd

CE = Concentracion de material

Mn = Valor medio de material particulado recolectado, mg.

Vmstd = Volumen de gas muestreado, Nm3.

Vmstd = Vm [(Tstd (Pbar+ H)) / (Tm x Pstd)]

Vm = Volumen de gas muestreado, m3.

Tstd = 25 °C = 298 °K

Pstd = 760 mm Hg

Tm = Temperatura media, 23 °C.

Pbar = Presion barometrica media, mm Hg.

H = Caída de presion media, mm Hg.

CE 30 mg/Nm3

TABLA 3.4.- MUESTREO DE GAS CON MATERIAL PARTICULADO EMITIDO POR LO PRECIPITADORES ELECTROSTATICOS

PRECIPITADOR ELECTROSTATICO #1						PRECIPITADOR ELECTROSTATICO #2					
MUESTRA (Kg)						MUESTRA (Kg)					
TIEMPO (Min)	1	2	3	4	5	TIEMPO (Min)	1	2	3	4	5
10	288	298	222	202	341	10	230	415	330	264	271
20	293	283	231	187	292	20	216	351	301	222	299
30	321	343	274	215	283	30	352	224	289	236	295
40	275	293	251	263	344	40	447	292	278	201	177
50	337	315	281	190	297	50	382	286	265	213	211
60	223	251	240	243	438	60	373	206	200	220	232
TOTAL/HR	1737	1783	1499	1300	1995	TOTAL/HR	2000	1774	1663	1356	1485
TOTAL DIARIO	41688	42792	35976	31200	47880	TOTAL DIARIO	48000	42576	39912	32544	35640

TABLA 3.5.- MUESTRAS DE LAS RASTRAS RECOLECTORAS

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los precipitadores electrostáticos seleccionados han cumplido con el objetivo deseado de emitir gases con un contenido de polvo  $< 150 \text{ mg/Nm}^3$ , estableciéndose por medio de las pruebas realizadas que este valor esta en el orden de los  $30 \text{ mg/Nm}^3$  con una recuperación de 31.2 a 48 ton clinker/día.

Los valores obtenidos en las pruebas realizadas no contradicen a la garantía ofrecida por el fabricante, en lo que respecta a la concentración del polvo emitido en los gases ( $100 \text{ mg/Nm}^3$ ) sino más bien que son favorables.

Pero en lo que respecta a la cantidad de material recuperado, salta el interrogante de por que tan reducido valor, planteandose distintas hipótesis como la de que un gran porcentaje de material particulado (grueso, mediano) transportado por los gases de la enfriadora no logran rebasar el cambio de dirección existente en la ductería (enfriadora-precipitador), regresando a la enfriadora de clinker por lo tanto al transportador de clinker.

El efecto que esto podría tener sería sobre el tiempo de amortización, extendiendolo debido a que este es directamente proporcional a la cantidad de clinker recuperado.

Conviene así recordar que cuando operaban los mult ciclones, se emitian gases con una concentración de polvos sobre los  $5 \text{ g/Nm}^3$ , lo que implica unas 30 ton clinker/día por lo menos.



En definitiva para verificar completamente la eficiencia del equipo se debería determinar la concentración de polvo en los gases de entrada (antes y después del cambio de dirección), lo que hasta la fecha no se ha realizado por razones de seguridad (dificultad de acceso), pero sería recomendable realizarlas.

En lo referente al proceso de montaje del equipo se puede decir que se cumplió con el cronograma de trabajo planificado, con un retraso del orden del 10% del tiempo programado.

Este retraso se lo puede aducir a las siguientes circunstancias:

- Climatológico, se comenzó a realizar el montaje en el mes de Enero/87, debiéndose trabajar a la intemperie durante el invierno del mismo año.
- Existieron problemas en el abastecimiento de materiales, como: soldadura, oxígeno, acetileno, etc.
- Se debió reponer material dañado como era el del planchaje lateral y del techo.
- La incapacidad de la grúa hidráulica de 75 ton contratada para el montaje, por lo que se debió operar con una mecánica de la empresa, de 55 ton, con la desventaja que la misma es de lento desplazamiento y difícil operación.
- En una fase avanzada del montaje se decidió la utilización de una torre-grúa existente en la empresa, la misma que se encontraba fuera de uso con cierto grado de

deterioro, teniendo que ser reparada e instalada en una base ubicada sobre los dos precipitadores electrostáticos.

- Se debió corregir defectos de construcción de ciertos elementos como son: planchaje en general, barras percursoras, placas colectoras, etc.

En síntesis, la decisión de cambiar los equipos de control de la contaminación atmosférica por material particulado original en la planta Cerro Blanco (multiciclones), por un sistema poco conocido, con una alta inversión inicial y que requiere de un espacio físico respetable, podrá ser juzgada transcurrido cierto número de años, en que se demuestre sus ventajas como son sus bajos costos de operación y mantenimiento.

En cuanto a la eficiencia del equipo a simple vista se siente el cambio en el medio ambiente por la drástica reducción de la emisión de material particulado, que resalta en la limpieza de la zona aledaña al mismo (techos de los edificios cercanos, vías de acceso, etc).

Por otro lado, de la realización del montaje se puede recomendar que muchos de los elementos que componen el precipitador electrostático pudieron ser elaborados en el país como son: planchaje en general, barras percursoras, estructuras de las rastras transportadoras, carcasa del ventilador, deflectores, etc., con el consiguiente beneficio para la industria metal-mecánica nacional.

**ANEXO A**

**I N F O R M E   T E C N I C O**

Referencia: Inspección no destructiva mediante ultrasonidos y partículas magnéticas de las uniones soldadas de los pórticos del filtro electrostático.

Para: La Cemento Nacional, Planta Cerro Blanco.

Solicitado por: ING. DIEGO ALCIVAR

Fecha: 18 de febrero de 1987

**1.- ANTECEDENTES.-**

Se realizaron ensayos no destructivos por partículas magnéticas (100%) y ultrasonidos (parcial) en las uniones soldadas ejecutadas en los pórticos del filtro electrostático a instalarse en la Planta Cerro Blanco de la Cemento Nacional.

**2.- EQUIPOS Y TECNICAS UTILIZADAS**

- a. Partículas magnéticas
  - Yugo de magnetización de DC/AC
  - Partículas magnéticas secas
  - Partículas magnéticas fluorescentes
  - Lámpara de luz negra
  - Medidor de campo magnético.
- b. Ultrasonidos
  - Unidad KRAUTRAMER USK6
  - Transductor angular de 2MHz y 45°
  - Bloque de Calibración: ASME, sec V
  - Acoplante: Grasa
  - Ganancia de exploración/evaluación: 26 db/20 db.

**3.- OPERADORES**

Ing. Carlos Ordoñez, Nivel II en ultrasonidos  
Ing. Jaime Barrera





### 4.- RESULTADOS:

En el gráfico anexo se indica cada una de las zonas inspeccionadas.

#### 4a. Inspección por partículas magnéticas:

PORTICO	ZONA A	ZONA B	ZONA C	ZONA D
I	Aceptado	Aceptado	Aceptado	Mordedura
II	Aceptado	Aceptado	Mordedura	Aceptado
III	Aceptado	Aceptado	Aceptado	Aceptado
IV	Aceptado	Aceptado	Aceptado	Aceptado
V	Aceptado	Aceptado	Aceptado	Aceptado
VI	Aceptada	Aceptado	Aceptado	Aceptado
VII	Mordedura	Aceptado	Aceptado	Mordedura
VIII	Mordedura	Aceptado	Aceptado	Aceptado



FACULTAD DE INGENIERIA  
MECANICA



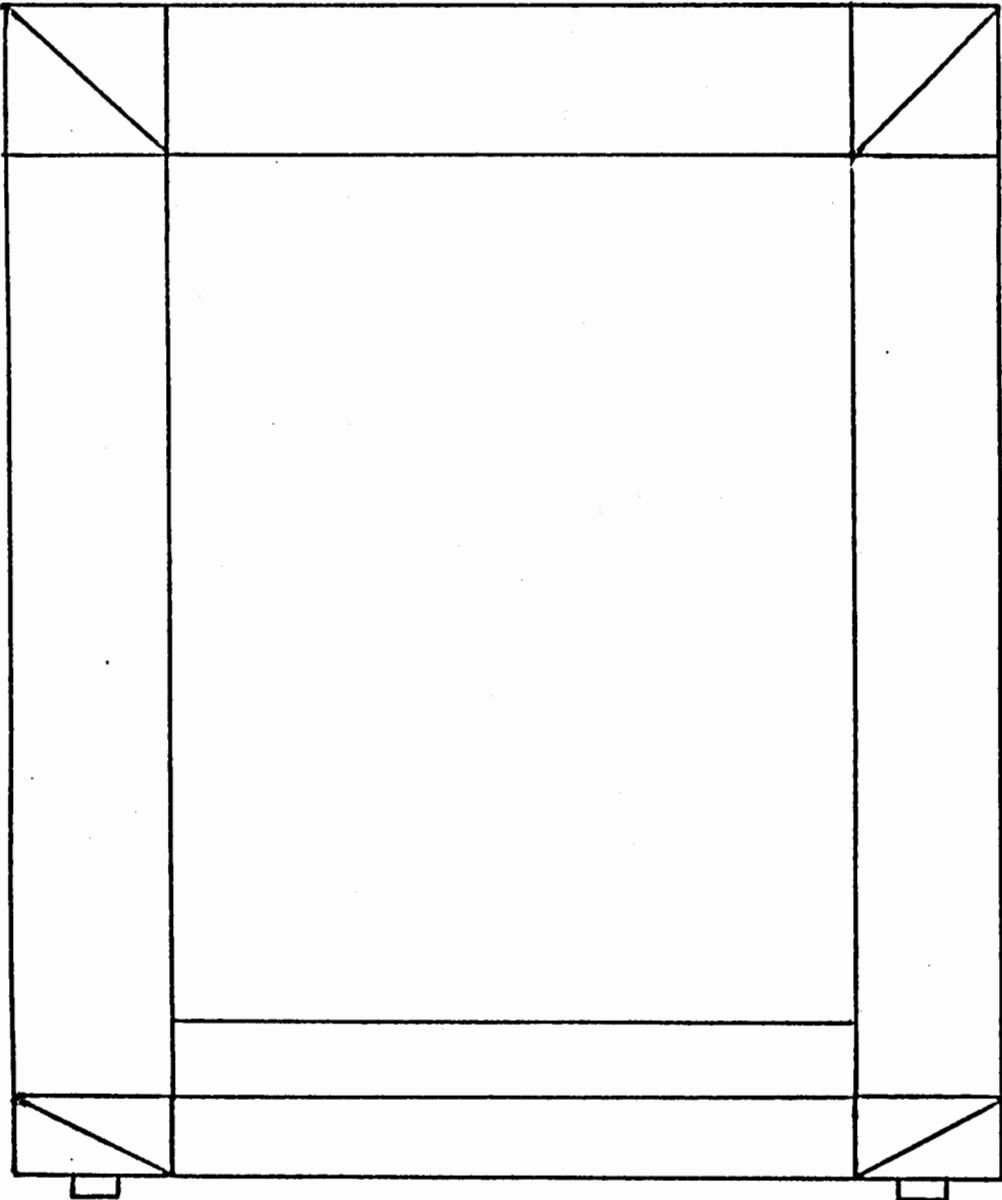
ESQUEMA DE PORTICO PARA FILTRO ELECTROSTATICO

LA CEMENTO NACIONAL,

PLANTA CERRO BLANCO ( I - VIII )

Zona D

Zona C



Zona A

Zona B





### 4.b. Inspección Ultrasónica

PORTICO	ZONA A	ZONA B	ZONA C	ZONA D
I	Aceptada	Aceptada	Falta de penetración	Aceptada
II	Aceptada	Aceptada	Falta de penetración	Aceptada
III	Aceptada	Aceptada	Aceptada	Aceptada
IV	Aceptada	Aceptada	Detecto lineal	Aceptada
V	Mordedura	Aceptada	Mordedura	Mordedura
VI	Mordedura	Mordedura	Aceptada	Aceptada
VII	Aceptada	Aceptada	Aceptada	Aceptada
VIII	Aceptada	Aceptada	Aceptada	Aceptada

### 5.- OBSERVACIONES:

- La defectología encontrada mediante la inspección ultrasónica corresponde a señales provenientes de poros aislados y defectos lineales.

- Los defectos lineales tienen una longitud aproximada de 10 mm.

Las señales provenientes de los defectos detectados no sobrepasan el 20% del nivel de referencia de la curva DAC.



ESPOL

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

APARTADO: 5863 - TELEX: 4-3509 ESPOLG-ED

Guayaquil - Ecuador



- Las mordeduras detectadas fueron reparadas luego de efectua da la inspección;



FACULTAD DE INGENIERIA  
MECANICA

*Omar Serrano*

ING. OMAR SERRANO V,  
Laboratorios de E.N.D.



## BIBLIOGRAFIA

- 1 . Dedusting of Excess Air from Grate-Type Coolers in the Cement Industry (ZKG N° 5/82), by G. Glorieux, Gaurain Ramecroix, W. Verplancke, Zwevegem.
- 2 . State of Development of the Counter-Current Packed-Bed Filter (ZKG N°1/80), by B. Ruskamp, Bayreuth.
- 3 . Dedusting of Clinker Grate Coolers; Conventional Systems and Possible Alternative ( "Holderbank" Management & Consulting Ltd. VA 81/4834/E), by B. Chevalley.
- 4 . Desempolvamiento de Enfriadores de Rejillas para Clinker de Cemento por Morten R. Schioth, Ingeniero Industrial de FLS, Copenhague.
- 5 . Ventilación y Eliminación del Polvo en los Molinos de Cemento por J. Descaper, "Holderbank" News 7/81.
- 6 . Corrosión y Protección Anticorrosiva en Filtros Electrostáticos por J. Waltisberg, "Holderbank" News 5/84.
- 7 . Environmental Protection and Industrial Safety by G. Funke.
- 8 . What You Should Know About Dust Collecting Equipment? Part 2 Concludes this Series on Dust Collecting Systems with an Explanation of Electrostatic Precipitators, by Kramer S. Schatzlein, a Presentation Given at Rock Products 17th International Cement Seminar. December 6-9, 1982 in Chicago.
- 9 . How to Attack Air-Pollution Control Problems by W. L.

O'Connell Hydrosience Enviromental Systems Inc.

10. Air pollution Control, by Aaroon J. Teller, Teller Environmental Systems, Inc.
11. Sampling and Analyzing Air Pollution Sources by N. L. Morrow, R.S. Brief and R.R. Bertrand, Esso Research and Engineering Corp.
12. Gas/Solid Separations, by Gordon D. Sargent, Nopco Div., Diamond Shamrock Chemical Corp.
13. Removing Particulares from Gases, by Ted M. Rymarz, Flex Kleen Corp., and David H. Klipstein, Research-Cohrell Inc.
14. Cyclone Dust Collectors, Chemical Engineering.
15. Cooling Hot Gases Before Baghouse Filtration, by Paul Vandenhoeck, Combustion Equipment Associates Inc.
16. Baghouses: Separating and Collecting Industrial Dust, Chemical Engineering.
17. Selecting and Specifying. Electrostatic Precipitators, Chemical Engineering.
18. Procedures Manual for Fabric Filter Evaluation EPA-600/7-78-113 June 1978, U.S. Environmental Protection Agency.
19. Manuales Informativos de:
  - Lurgi Umwelt und Chemotechnick GMBH; Dust Collection and Emission Control Division.
  - F. L. Smidth, Precipitadores Electrostaticos.
  - K.H.D. (Humboldt Wedag). Precipitadores Electrostaticos.

20. Cotizaciones de:

- Fleex-Kleen Corp (Research-Cottrell Inc.). Proposal # 83-6136 (E.E.U.U.)
- Bekipor
- American Air Filter (an Allis Chalmers Company). Proposal 2-237 (E.E.U.U.)
- Ruskamp GMBH (R.F.A.)

21. Manual de Montaje de Precipitador Electrostático. Modelo 1F400/H415/2x40-120125/T/B/L2D de la F.L. Smidth

22. Filtros, "Holderbank" Management & Consulting Ltd. VA 27.

23. Precipitadores Electrostáticos, "Holderbank" Management & Consulting Ltd, VA 27 I.

24. Catálogos de Selección de Ventiladores de:

- ILG, Industrial Fans Series 2000 DB6-100
- Clarage, Industrial Fans Series XL 709-A
- Lehigh, Backward Curve Fans L-6 A (Fuller Company).